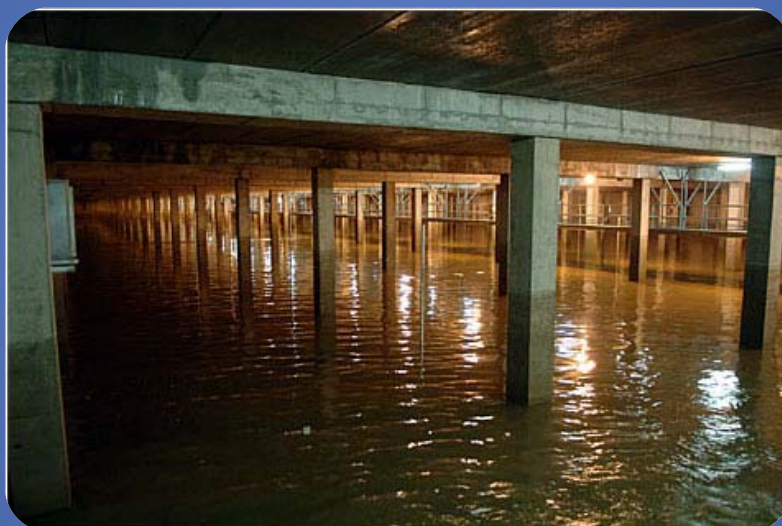




2018

## TRABAJO FIN DE GRADO

### TANQUE DE TORMENTAS ANTI-INUNDACIÓN INTEGRADO EN UN SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE



- ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA
- INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN HIDROLOGÍA
- ALUMNO: JAVIER MARCOS PIZARRO
- TUTOR: JOSÉ LUIS MOLINA GONZÁLEZ
- CURSO: 2018-2019



Dedicado: A mis padres por el apoyo mostrado, a mis hermanos Luis y Sergio, a mi sobrina Sofía, y a mis abuelos quienes hoy se sentirían orgullosos de verme.

## ÍNDICE

### I. MEMORIA

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	1
2. PROBLEMÁTICA ACTUAL.....	1
3. OBJETIVOS.....	2
3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
3.2 ANÁLISIS DE OBJETIVOS.....	2
4. ESTUDIOS PREVIOS.....	3
4.1 GEOGRAFÍA Y UBICACIÓN.....	3
4.2 CLIMATOLOGÍA.....	4
4.3 DOTACIONES, EQUIPAMIENTOS Y SERVICIOS CERCANOS.....	4
5. ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO.....	5
5.1 INFORMACIÓN GEOESPACIAL.....	6
5.2 HIDROLOGÍA.....	6
5.2.1 CUENCA HIDROGRÁFICA.....	6
5.2.2 PLUVIOMETRÍA.....	8
5.2.3 CURVAS IDF.....	9
5.2.4 HIDROGÁMAS ADIMENSIONALES DEL SCS.....	13
5.3 HIDRÁULICA.....	19
5.3.1 MODELO HEC-RAS SOBRE MDE.....	19
5.3.1.1 RÉGIMEN PERMANENTE.....	19
5.3.1.2 RÉGIMEN VARIABLE/INUNDACIÓN DINÁMICA.....	38
5.3.2 MODELO HEC-RAS CON SOLUCIÓN PROPUESTA EN REGIMEN PERMANENTE.....	48
6. SOLUCIÓN PLANTEADA.....	56
6.1 TOPOGRAFÍA.....	56
6.2 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO.....	58
6.2.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	58
6.2.2 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.....	60
6.2.3 DETERMINACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO.....	61
6.2.4 VACIADO.....	62

<b>6.3 CANAL.....</b>	<b>63</b>
<b>6.3.1 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CANAL.....</b>	<b>63</b>
<b>6.3.2 SISTEMA DE COMPUERTAS.....</b>	<b>64</b>
<b>6.4 TANQUE DE TORMENTAS.....</b>	<b>66</b>
<b>6.4.1 DESCRIPCIÓN DEL TANQUE.....</b>	<b>66</b>
6.4.1.1 CLASIFICACIÓN.....	66
6.4.1.2 ALIVIADERO.....	69
6.4.1.2.A DISEÑO.....	69
6.4.1.2.B REUTILIZACIÓN DE AGUA.....	73
6.4.1.3 LOCALES TÉCNICOS.....	74
6.4.1.4 SISTEMA DE TELECONTROL.....	74
<b>6.4.2 DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE RETENCIÓN.....</b>	<b>76</b>
6.4.2.1 CLASIFICACIÓN.....	76
6.4.2.2 ALIVIADEROS INTERIORES.....	76
6.4.2.3 ACCESIBILIDAD.....	76
6.4.2.4 COMPUERTAS.....	76
6.4.2.5 SISTEMA DE LIMPIEZA.....	77
6.4.2.6 VENTILACIÓN.....	78
6.4.2.7 OTRAS INSTALACIONES.....	78
<b>6.4.3 CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>78</b>
6.4.3.1 ELECCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO.....	78
6.4.3.2 SOLERA.....	78
6.4.3.3 CERRAMIENTO LATERAL.....	78
6.4.3.4 PILARES.....	79
6.4.3.5 CUBIERTA.....	79
6.4.3.6 COMPARTIMENTACIÓN.....	79
6.4.3.7 POZO DE BOMBAS.....	79
6.4.3.8 CONSTRUCCIÓN DE COLECTORES.....	79
6.4.3.9 DIAGRAMA DE GANTT.....	80
<b>6.4.4 MANTENIMIENTO.....</b>	<b>82</b>
<b>6.5 INTEGRACIÓN DEL PROYECTO EN UN SDUS.....</b>	<b>83</b>
<b>6.5.1 MOTIVACIÓN DE LA INTEGRACIÓN EN UN SDUS.....</b>	<b>83</b>
<b>6.5.2 INTRODUCCIÓN A LOS SDUS.....</b>	<b>83</b>



<b>6.5.3 ELECCIÓN DEL SDUS.....</b>	<b>84</b>
<b>A. MATRICES DE SELECCIÓN PROPUESTAS POR CIRIA.....</b>	<b>85</b>
<b>B. PUBLICACIÓN DEL CEDEX SOBRE LOS SDUS.....</b>	<b>90</b>
<b>ANEJO I: INFORMACIÓN CATASTRAL.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEJO II: NORMATIVA.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEJO III: REPORTAJE FOTOGRÁFICO.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEJO IV: PLANOS.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEJO V: PRESUPUESTO.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEJO VI: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.....</b>	<b>112</b>
<b>ANEJO VII: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEJO VIII: GESTIÓN DE RESIDUOS.....</b>	<b>144</b>
<b>ANEJO IX: BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>150</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Municipio de El Escorial en el Mapa de España.....	3
Figura 2: Ubicación de El Escorial en La Comunidad de Madrid.....	3
Figura 3: Ubicación del Arroyo del Batán en El Escorial.....	3
Figura 4: Dotaciones, equipamientos y servicios cercanos.....	4
Figura 5: Cuenca Hidrográfica del Arroyo del Batán.....	7
Figura 6: Cuenca Hidrográfica Modificada del Arroyo del Batán.....	7
Figura 7: Solicitud de información pluviométrica a la AEMET.....	8
Figura 8: Calculo de las variables probabilísticas.....	10
Figura 9: Curvas IDF.....	12
Figura 10: Hoja de cálculo para obtener los hidrogramas triangulares.....	14
Figura 11: Hidrograma triangular para T=500 para un aguacero de 60 min.....	14
Figura 12: Hidrograma Adimensional SCS para T=500 para un aguacero de 60 min.....	15
Figura 13: Hidrograma Adimensional SCS para T=500 para un aguacero de 30 min.....	16
Figura 14: Hidrograma Adimensional SCS para T=500 para un aguacero de 20 min.....	16
Figura 15: Hidrograma Adimensional SCS para T=500 para un aguacero de 10min.....	17
Figura 16: Hidrograma Adimensional SCS para T=100 para un aguacero de 60 min.....	17
Figura 17: Hidrograma Adimensional SCS para T=100 para un aguacero de 30 min.....	18
Figura 18: Hidrograma Adimensional SCS para T=100 para un aguacero de 20 min.....	18
Figura 19: Hidrograma Adimensional SCS para T=100 para un aguacero de 10min.....	19
Figura 20: Digitalización del cauce del río y cajeros.....	20
Figura 21: Dirección del flujo.....	20
Figura 22: Cross Sections.....	21
Figura 23: Sección perpendicular a la dirección del río.....	21
Figura 24: Exportando a Hec-Ras 5.0.....	22
Figura 25: Geometría del tramo estudiado y Cross Section.....	22
Figura 26: Sección 23 importada a Hec-Ras.....	23
Figura 27: Coeficientes de Manning.....	23
Figura 28: Esquema Medición de una pila del puente.....	24
Figura 29: Características geométricas del tablero del puente.....	24
Figura 30: Características geométricas de las pilas del puente.....	24
Figura 31: Puente carretera M-505.....	25

Figura 32: Puente carretera Barrio Cruz.....	25
Figura 33: Puente de acceso al instituto público IES El Escorial.....	26
Figura 34: Segundo puente de acceso al instituto público IES El Escorial.....	26
Figura 35: Puente carretera M-600.....	27
Figura 36: Vista 3D con los cinco puentes modelizados en HEC-RAS.....	27
Figura 37: Hidrograma para T=500años para un aguacero de 60 min.....	27
Figura 38: Condiciones de flujo, caudal 92.1m <sup>3</sup> /s para T=500.....	28
Figura39: Condiciones de contorno.....	28
Figura 40: Fin de la ejecución del modelo.....	29
Figura 41: Lámina de agua en la sección 15.5.....	29
Figura 42: Lámina de agua en la sección 17.5.....	30
Figura 43: Lámina de agua en la sección 11.5.....	30
Figura 44: Lámina de agua en la sección 9.5.....	31
Figura 45: Lámina de agua en la sección 4.5.....	31
Figura 46: Perfil de la lámina de agua en el cauce.....	32
Figura 47: Representación 3D de la inundación.....	32
Figura 48: Tabla de resultados, ejecución para la pendiente entre las secciones 23-1.....	33
Figura 49: Tabla de resultados, ejecución para la pendiente entre las secciones 23-3.....	33
Figura 50: Tabla de resultados, ejecución para la pendiente entre las secciones 23-14.....	34
Figura 51: Inundación para T=500 años en régimen permanente.....	34
Figura 52: Ficha técnica para un periodo de retorno T=500 años.....	35
Figura 53: Inundación para T=500 años en régimen permanente (Visor SNCZI).....	36
Figura 54: Inundación para T=500 años en régimen permanente (Obtenida con HEC-RAS).....	36
Figura 55: Inundación para T=100 años en régimen permanente (Visor SNCZI).....	37
Figura 56: Inundación para T=50 años en régimen permanente (Visor SNCZI).....	37
Figura 57: Inundación para T=10 años en régimen permanente (Visor SNCZI).....	37
Figura 58: Pantalla de inicio de Hec-Ras 5.0 “Open Ras Mapper to view maps and data spatially”.....	38
Figura 59: Crear nuevo terreno en Hec-Ras.....	39
Figura 60: Creación del terreno en Hec-Ras 5.0.....	39
Figura 61: MDE introducido en Hec-Ras 5.0.....	39
Figura 62: Activamos la geometría.....	39
Figura 63: Zona de actuación, sentido del río, malla y condiciones de contorno.....	40
Figura 64: Coeficientes de Manning sugeridos por Hec-RAS.....	41

Figura 65: Pantalla de Hec-RAS con condiciones de contorno, creación de la malla y Manning.....	41
Figura 66: Condiciones de contorno.....	42
Figura 67: Hidrograma para T=500 para un aguacero de 60 min introducido en Hec-Ras.....	43
Figura 68: Fin de la ejecución modelo.....	43
Figura 69: Inundación para T=500 años para un aguacero de 1h régimen variable.....	44
Figura 70: Hidrograma para T=500 para un aguacero de 30 min introducido en Hec-Ras.....	44
Figura 71: Inundación para T=500 años para un aguacero de 30 min régimen variable.....	45
Figura 72: Hidrograma para T=500 para un aguacero de 20 min introducido en Hec-Ras.....	45
Figura 73: Inundación para T=500 años para un aguacero de 20 min régimen variable.....	46
Figura 74: Hidrograma para T=500 para un aguacero de 10 min introducido en Hec-Ras.....	46
Figura 75: Inundación para T=500 años para un aguacero de 10min régimen variable.....	47
Figura 76: Velocidad en cada Cross Section.....	48
Figura 77: Plano de situación del canal y el Tanque de tormentas.....	49
Figura 78: Esquema básico del proyecto.....	49
Figura 79: Canal sección tipo.....	50
Figura 80: Caudal formativo o dominante $Q = 18 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	51
Figura 81: Canal en planta con interpolación cada 5m.....	52
Figura 82: Cross Section aguas abajo del canal.....	52
Figura 83: Cross Section aguas arriba del canal.....	53
Figura 84: Datos de flujo en el modelo solución.....	53
Figura 85: Geometría en planta del modelo Solución.....	54
Figura 86: Caudal dominante bajo la carretera M-505.....	54
Figura 87: Caudal dominante en la sección 12.....	54
Figura 88: Cross Section del canal.....	55
Figura 89: Perfil longitudinal del canal.....	55
Figura 90: Tabla de resultados del modelo Solución.....	55
Figura 91: Esquema del de método de Schlumberger.....	60
Figura 92: Método empleado en la construcción de canales.....	63
Figura 93: Esquema de compuerta mixta.....	65
Figura 94: Compuerta Mixta.....	65
Figura 95: Tanque de Tormentas fuera de línea.....	67
Figura 96: Ubicación del Tanque de Tormentas.....	67

Figura 97: Costes energéticos vs impacto paisajístico.....	68
Figura 98: Elementos básicos de un aliviadero en un tanque de tormentas.....	69
Figura 99: Área del orificio.....	70
Figura 100: Aliviadero.....	71
Figura 101: Distintas posiciones de las pantallas deflectoras.....	72
Figura 102: Alzado limpiador basculante.....	77
Figura 103: Perfil limpiador basculante.....	77
Figura 104: Triángulo de la sostenibilidad. Cumbre de Río 1992.....	84
Figura 105: Integración del proyecto en un SDUS.....	88
Figura 106: Depósito de detención superficial.....	89
Figura 107: Franja filtrante.....	89
Figura 108: Cubierta vegetal o Green-roof.....	89
Figura 109: Capas de un Green-roof.....	90
Figura 110: Respuesta hidrológica de una cuenca urbana para distintos escenarios.....	90
Figura 111: Puente carretera M-505.....	96
Figura 112: Puente Carretera Barrio Cruz.....	96
Figura 113: Puente carretera Barrio Cruz.....	96
Figura 114: Puente de acceso al IES Escorial.....	96
Figura 115: Segundo puente de acceso al IES Escorial.....	97
Figura 116: Segundo puente de acceso al IES Escorial.....	97
Figura 117: Puente carretera M-600.....	97
Figura 118: Puente carretera M-600.....	97
Figura 119: Cosechas próximas al cauce.....	98
Figura 120: Cosechas próximas al cauce.....	98
Figura 121: Desbordamiento del cauce inundando algunas cosechas.....	98
Figura 122: Instituto público IES Escorial.....	99
Figura 123: Parcela en la que se ubicará el Tanque.....	99
Figura 124: Ubicación del Municipio de El Escorial en el Mapa de España.....	127
Figura 125: Ubicación de El Escorial en La Comunidad de Madrid.....	127
Figura 126: Ubicación del Arroyo del Batán en El Escorial.....	127
Figura 127: Ubicación del Tanque de tormentas.....	128
Figura 128: Coste energético vs Impacto Paisajístico.....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros de la cuenca modificada del Arrollo del Batán.....	8
Tabla 2: Máximos valores registrados.....	9
Tabla 3: Precipitaciones máximas mensuales entre 1946-2012.....	10
Tabla 4: Precipitaciones máximas probables mediante Gumbel.....	10
Tabla 5: Precipitaciones diarias máximas probables para distintos T.....	11
Tabla 6: Precipitaciones máximas para distintos tiempos de duración y periodos de retorno.....	11
Tabla 7: Intensidades-duración-frecuencia.....	12
Tabla 8: Coordenadas del Hidrograma adimensional del SCS.....	15
Tabla 9: Coeficiente $C_w$ .....	72
Tabla 10: Información Catastral.....	92
Tabla 11: Mediciones.....	102
Tabla 12: Salarios según convenio.....	104
Tabla 13: Horas empleadas por el personal.....	104
Tabla 14: Agentes intervinientes.....	113
Tabla 15: Datos generales.....	113
Tabla 16: Riesgos susceptibles de producirse en la obra.....	119
Tabla 17: Riesgos susceptibles de producirse en la obra.....	120
Tabla 18: Riesgos susceptibles de producirse en la obra.....	121
Tabla 19: Riesgos susceptibles de producirse en la obra.....	122
Tabla 20: Riesgos evitables.....	122
Tabla 21: Medidas para la prevención de residuos en obra.....	146

# **TANQUE DE TORMENTAS ANTI-INUNDACIÓN INTEGRADO EN UN SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE EL ESCORIAL (MADRID).**

## **1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN:**

En este documento se muestra el desarrollo del Trabajo fin de Grado realizado por el alumno Javier Marcos Pizarro, en La Escuela Politécnica Superior de Ávila (Universidad de Salamanca), en primer lugar, se mostrará la memoria descriptiva para la realización del proyecto, contando al final de esta con los Anjeos correspondientes.

Cabe destacar que en este trabajo, se propone un enfoque distinto de tanque de tormentas, pues por tanque de tormentas entendemos aquella infraestructura hidráulico-sanitaria destinada a optimizar la gestión de los flujos de los sistemas unitarios en tiempo de lluvia mediante estrategias de regulación y tratamiento de dichos flujos. Dicho trabajo consiste en la realización de un tanque de tormentas anti-inundación, con el objetivo de solventar la problemática ocasionada por el desbordamiento del arroyo del Batán a su paso por el municipio de El Escorial. Para ello, es primordial realizar un estudio hidrológico de la zona, así como un modelo que simule la inundación, para poder tomar la mejor solución en cuanto al emplazamiento y características del tanque al que se conducirán dichas aguas.

Además, la implantación del tanque de tormentas se integrará en un sistema de drenaje urbano sostenible (SDUS), caracterizado por la reducción del caudal punta producido por la avenida, eliminando los contaminantes arrastrados por la escorrentía, también se conseguirá mejorar el paisaje urbano mediante la introducción de este tipo de sistemas verdes (caracterizados por el empleo de vegetación).

## **2. PROBLEMÁTICA ACTUAL**

A lo largo de los años, el municipio de El Escorial ha sufrido modestas y severas inundaciones como consecuencia de la crecida del Arroyo del Batán en periodos de extremas precipitaciones. Dada la baja frecuencia del suceso no se han tomado medidas Anti-inundación para solventar el problema. Pero la situación no debería ser eludida, pues en las proximidades (escasos metros) al afluente se encuentra una zona urbanizada, con viviendas unifamiliares, bloques de pisos y equipamientos como es el Instituto público de educación secundaria del municipio "IES El Escorial".

La última crecida de dicho afluente data del año 2006, problema que ocasionó la imposibilidad de acceso de estudiantes al Instituto, con lo que tuvo que habilitarse una entrada adicional. Inundaciones similares a la del



2006 ocurrieron en años anteriores.

Aunque sin duda alguna, la mayor inundación de la que tienen recuerdos vecinos del municipio, fue la producida a principios de la década de los años 60 del siglo XX. En la que los vanos del puente (sobre el que transcurre la carretera M-505) quedaron obstruidos al no tener capacidad de desagüe suficiente, pues la avenida llevo a su paso grandes cantidades de vegetación, así como algunos animales que se encontraban en parcelas próximas al cauce, lo que derivó en un colapso de los vanos, pasando el agua por encima de dicho puente, teniendo que cortar la carretera M-505 durante las horas de la avenida. También fueron arrasadas todas las cosechas de los campos de cultivo próximos al cauce.

### 3. OBJETIVOS

Cabe destacar que los problemas identificados ocurren únicamente en periodos de extremas precipitaciones, con lo que el periodo de retorno asociado será de magnitud considerable. No obstante, las consecuencias de la inundación no pasan inadvertidas ocasionando grandes daños.

#### 3.1 Identificación del problema

- Inundación de los terrenos próximos al cauce por el desbordamiento del río.
- Imposibilidad de tránsito de personas en dicha zona.
- Inundación del instituto 'IES El Escorial'.
- Inundación del Parque de bomberos de El Escorial (CMA).
- Devastación de las cosechas en los campos de cultivo próximos al cauce.
- Inundación de la carretera M-505 a su paso por el río.
- Inundación en la Avenida Fresneda, con lo que se requiere cortar el tráfico de vehículos.

#### 3.2 Análisis de objetivos:

- Evitar la inundación producida por el desbordamiento del río y que tan severos daños ocasiona.
- Implantar un Tanque de tormentas que contenga el volumen de agua que ocasionaría la inundación.
- Reutilizar el agua almacenada por el tanque para otros usos, como puede ser: regadío de las tierras de cultivo de la zona y agua para hidrantes en el parque de bomberos de El Escorial.
- Integrar el Tanque en un sistema de drenaje urbano sostenible, que además de contribuir a la reducción del caudal punta de la avenida, mejore el paisaje urbano mediante la implantación de vegetación, apostando por la sostenibilidad y por un impacto ambiental mínimo.

## 4. ESTUDIOS PREVIOS

### 4.1 GEOGRAFÍA Y UBICACIÓN

La zona en la que se ubicará el proyecto se sitúa en el Municipio de El Escorial, situado al noroeste de la Comunidad de Madrid (España), a 45 km de la capital y a los pies de la vertiente meridional de la Sierra de Guadarrama, formando parte de la comarca de la cuenca del Guadarrama (Figura 1). Dicho municipio, se encuentra colindante en su parte norte con otro del nombre similar San Lorenzo de El



Escorial (conocido por el Monasterio de Felipe II) (Figura2).

A través de El Escorial discurre el Arrollo del Batán, afluente del río Aulencia, el cual nace en el Monte Abantos y desemboca en el río Guadarrama. El arroyo del Batán llega al municipio de El Escorial por su parte oeste, procedente del Embalse del Batán, cercando el núcleo urbano en su parte sur (Figura 3).

**Figura 1: Ubicación del Municipio de El Escorial en el Mapa de España.**



**Figura 2: Ubicación de El Escorial en La Comunidad de Madrid.**



**Figura 3: Ubicación del Arroyo del Batán en El Escorial.**

## 4.2 CLIMATOLOGÍA

El clima en El Escorial se clasifica como cálido y templado, siendo los meses de invierno mucho más lluviosos que los meses de verano. La temperatura media anual es 12,1°C presentándose las más altas en promedio durante el mes de julio, siendo la media 22,1°C y las más bajas en enero, con una media de 3,6°C. Por otro lado, en el mes de julio se suelen registrar las menores cantidades de lluvia con una media de 14 mm, mientras que la mayor parte de la precipitación cae en mayo, promediando unos 52mm.

Para el estudio hidráulico, se analizarán la precipitaciones registradas en los últimos 66 años (1946-2012), con el objetivo de tener un intervalo de tiempo lo suficientemente amplio, para detectar una inundación considerable y tomar las medidas oportunas manteniéndonos en el lado de la seguridad. Entre las precipitaciones registradas en dicho periodo, la máxima fue 150l/m<sup>2</sup> el día 21/01/1996. En páginas posteriores se darán más detalles acerca de la obtención de estos valores, así como la forma de introducirlos al correspondiente programa para hacer la simulación.

## 4.3 DOTACIONES, EQUIPAMIENTOS Y SERVICIOS CERCANOS

La zona en la que se realizará el estudio es una zona muy transitada, tanto por personas como por vehículos, sobre todo en las primeras horas de la mañana, cuando comienza el horario escolar pues un gran número de personas, tanto alumnos como profesores acude al instituto ‘‘IES El Escorial’’. Los principales servicios, dotaciones y equipamientos pueden apreciarse en la siguiente imagen (Figura 4):



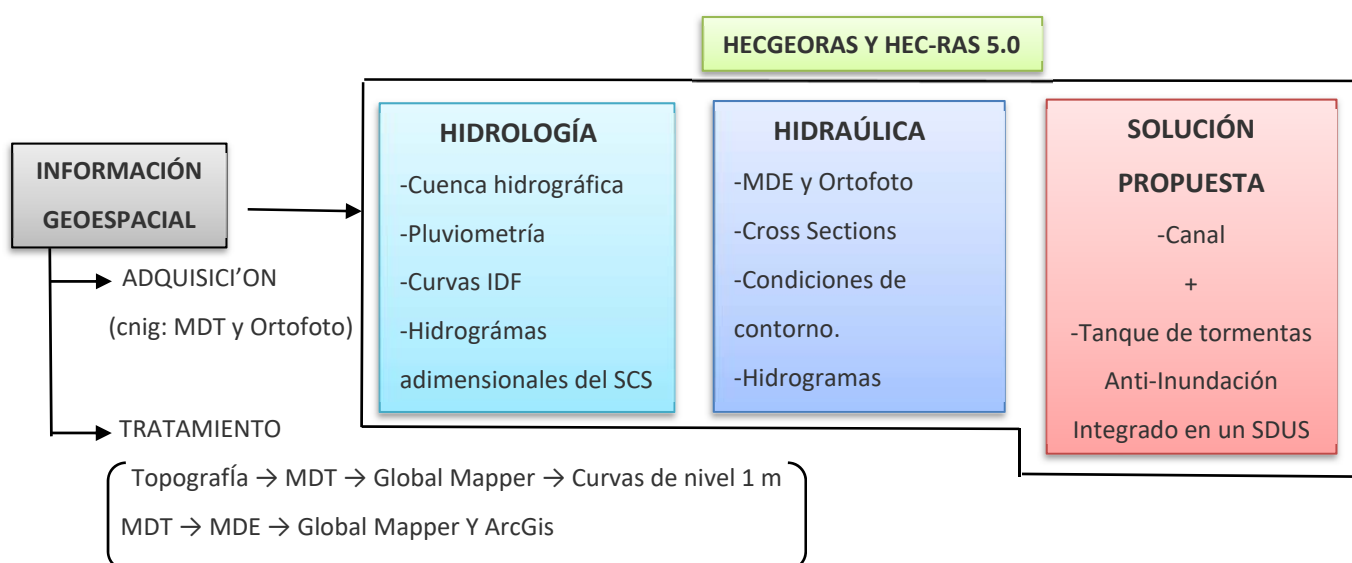
Figura 4: Dotaciones, equipamientos y servicios cercanos.

- Instituto de educación secundaria IES El Escorial.
- Colegio de educación primaria Felipe II.
- Campos de cultivo.
- Urbanización Felipe II.
- Viviendas unifamiliares.
- Polideportivo Municipal de El Escorial.
- Parque de bomberos de El Escorial.
- Curso del Arroyo del Batán.

## 5. ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRAÚLICO

Se explicará la metodología seguida en el estudio hidráulico previo de la zona, en función de las características actuales existentes. Para dicho estudio ha sido necesaria la utilización de archivos geoespaciales, tales como un Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona, así como generar un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), Ortofotos y topografía, también es necesaria la información hidrológica e hidráulica. Para procesar toda esta información, ha sido necesario el uso de los programas: ArcMap, HEC-GeroRAS y HEC-RAS 5.0, Google Earth, Global Mapper y AutoCAD.

A continuación, se muestra un esquema con las principales fases realizadas y posteriormente se explica cada una de ellas en detalle:



## 5.1 INFORMACIÓN GEOESPACIAL

Para comenzar a realizar el estudio, ha sido necesario obtener toda la información geoespacial existente de la zona. Con información geoespacial nos referimos al MDT, MDE, Ortofotos y topografía, lo cual es necesario para caracterizar la zona de estudio.

En primer lugar, descargamos el Modelo Digital del Terreno (MDT) del “Centro de descargas del CNIG”, así como la ortofoto correspondiente.

Por otra parte, se obtuvo la Topografía de la zona a través del software “Global Mapper” en el cual introduciendo el MDT georreferenciado nos permite obtener las curvas de nivel con la equidistancia deseada, en este caso 1 m, para realizar el estudio de detalle de la forma más precisa posible.

También se necesita obtener el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) ya que existe una zona urbanizada dentro de la cuenca la cual no se contempla en el MDT.

El MDE no sólo muestra el terreno, sino que incorpora sobre este las edificaciones y vegetación que se encuentra presente, así como las calles existentes, incorporando por tanto las modificaciones realizadas sobre el terreno natural. Para obtenerlo partimos de un archivo en formato “shapefile” (shp) obtenido con un “GIS” de la zona en la que nos encontramos, creamos el “Shp” mediante con el programa “Arc Map”, dibujando un polígono en el que se encuentra nuestra zona y lo denominamos “Área de actuación” georreferenciándolo con sus correspondientes coordenadas.

Hecho esto abrimos el “shp” con “Global Mapper” y mediante la herramienta “Download online data” → “Terrain data” generamos el MDE guardándolo mediante los comandos “File” → “Export” → “Export Elevation Grid format”. Tras este proceso obtenemos finalmente el Modelo Digital de Elevaciones de nuestra zona.

## 5.2 HIDROLOGÍA

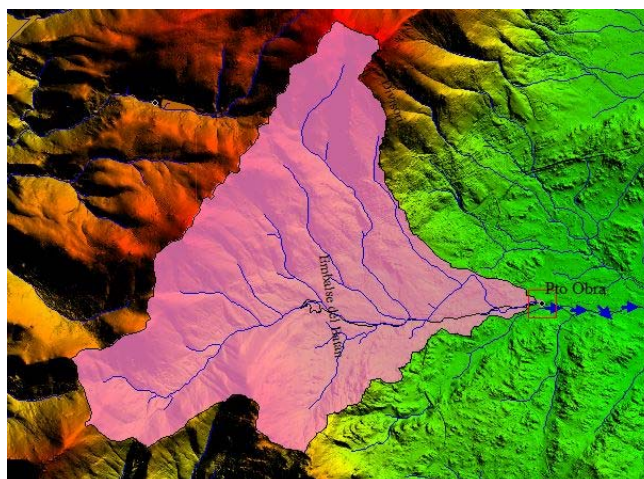
### 5.2.1 CUENCA HIDROGRÁFICA

En primer lugar, comenzamos trazando la cuenca natural de drenaje (Figura 5), esto se hizo mediante el software “Global Mapper” el cual permite a través de la herramienta “Analysis” → “Watershed Generation Options” trazar la divisoria de la cuenca, para lo ello basta con introducir en el MDT el punto de obra georreferenciado y la precisión que deseamos: mediante el número de celdas que quiero que considere y la máxima depresión de la cuenca a considerar.



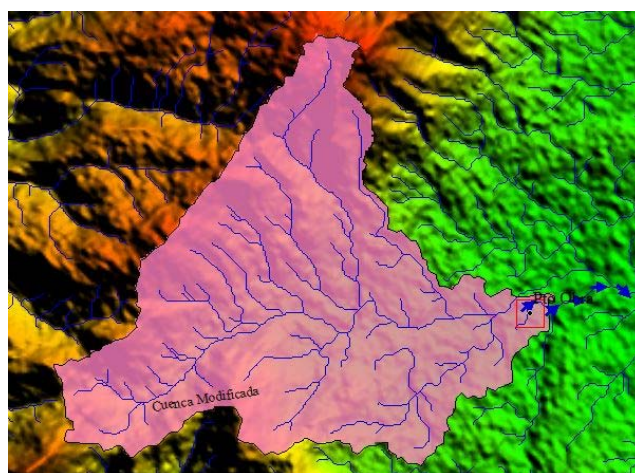
El punto de obra que se ha elegido es un punto del Arroyo del Batán a su paso por la parte más baja del Municipio de “El Escorial”, con el fin de estudiar la inundación producida por el curso del río.

Una vez obtenida la cuenca, y las curvas de nivel cada metro, se representó el curso del río principal junto con el embalse del que nace, exportando esta información a formato “dwg” con el fin de visualizarlo en AutoCAD y comprobar que el trazado de la divisoria realizado por el Software es el correcto.



**Figura 5: Cuenca Hidrográfica del Arroyo del Batán.**

Obtenida la cuenca natural de drenaje se delimitó una nueva cuenca: “cuenca modificada” más representativa de la realidad que la primera, ya que considera las zonas urbanizadas, teniendo en cuenta las pendientes de las calles, así como el efecto que ejercen las edificaciones en el drenaje urbano (Figura 6). Para ello utilizaremos el MDE, introduciéndolo en “Global Mapper” y repitiendo el proceso que se realizó anteriormente para obtener la cuenca natural: “Analysis” → “Watershed Generation Options”.



**Figura 6: Cuenca Hidrográfica Modificada del Arroyo del Batán.**

PARÁMETROS DE LA CUENCA MODIFICADA	VALORES
Área	26,522 Km <sup>2</sup>
Perímetro	28,607 Km
Longitud del cauce principal	3,813 Km
Cota del punto más alto	1755 m
Cota del punto más bajo	860 m
Pendiente media	0.23472331
Tiempo de concentración	1,0926h

Tabla 1: Parámetros de la cuenca modificada del Arrollo del Batán.

## 5.2.2 PLUVIOMETRÍA

Por otro lado, se obtuvieron todas las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (Puerto de Navacerrada) los datos registrados datan del (1/01/1946-1/01/2012), las precipitaciones obtenidas son las máximas de cada día durante dicho intervalo de 66 años (Figura 7).

$$365 \frac{\text{datos de precipitación}}{\text{año}} \times 66 \text{ años} = 24.090 \text{ datos de precipitación}$$

Esta ingente magnitud de precipitaciones registradas nos servirá para analizar el evento de mayor precipitación registrada en más de medio siglo y además obtener las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) con las que tendremos distintas precipitaciones máximas asociadas a su correspondiente periodo de retorno.

Dicho registro de precipitaciones se obtuvo de “[www.datosclima.es](http://www.datosclima.es)” página web que contiene información proporcionada por la AEMET, como son dichas precipitaciones.

**DATOS AEMET -hasta 2012- / Precipitación-Sol**

Inicio  
Contactar  
**DATOS AEMET -hasta 2012-**  
Situación Estaciones  
Datos diarios  
Temperaturas  
Presión  
Viento  
Precipitación y Sol  
Descarga Datos

**Datos de Precipitación y horas de sol para una Estación Meteorológica**

Selecciona Primero una estación y posteriormente las fechas inicial y final entre las que quieres visualizar los datos. La fecha inicial ha de ser menor que la final y ambas comprendida entre los periodos de implementación de la base de datos de la web que se inician en 1920 (Solo para algunas estaciones). Si al pulsar el botón Buscar no arroja valores, cambia lo periodos de fecha pues para los seleccionados no existen datos registrados.

PUERTO DE NAVACERRADA

PROVINCIA: MADRID

LATITUD: 404735N

INDICATIVO: 2462

LONGITUD: 040038W

ALTITUD: 1894

Fecha Inicial: 01 / 01 / 1946 (dd/mm/aaaa)

Fecha Final: 01 / 01 / 2012 (dd/mm/aaaa)

BUSCAR

Figura 7: Solicitud de información pluviométrica a la AEMET.



CARACTERÍSTICA	VALOR	FECHA
Máxima precipitación diaria registrada:	150l/m <sup>2</sup>	21/01/1996
Máximas horas de sol registradas:	14.9h	02/07/1967
Precipitación total acumulada en el periodo:	87014.3 l/m <sup>2</sup>	

**Tabla 2: Máximos valores registrados.**

Para modelizar el evento con HEC-GeORAS se realizará un estudio en régimen permanente, además de tomar distintos eventos de precipitación, utilizando para ello las intensidades cada 10, 20, 30, 60 minutos asociadas a un periodo de retorno ( $T=500$ ) y a un ( $T=100$ ). Se ha optado por utilizar las intensidades asociadas a estos periodos de retorno evaluando situaciones extremas.

### 5.2.3 CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF)

**Obtención de las precipitaciones e intensidades máximas diarias probables asociadas a un periodo de retorno y tiempos de duración:**

En primer lugar, procedemos a obtener las curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia) (Figura 9), con las que tendremos las distintas intensidades asociadas a distintos periodos de retorno, lo que nos es indispensable para posteriormente obtener los caudales punta para modelizar el evento.

Para obtener las precipitaciones e intensidades máximas probables, partimos de las Precipitaciones máximas diarias entre 1946-2012, comenzamos calculando las precipitaciones máximas mensuales en dicho intervalo de tiempo (66años), para agilizar el proceso se ha utilizado una plantilla Excel, ya que la información a procesar era de más de 24.000 registros de precipitación.

DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1946	12,00	10,00	10,00	44,00	70,00	14,00	0,00	15,00	17,00	13,00	28,00	10,00	70,00
1947	6,00	20,00	22,00	6,00	40,00	20,00	10,00	15,00	40,00	33,00	12,00	12,00	40,00
1948	19,00	16,00	38,00	40,00	24,00	12,00	5,00	8,00	22,00	28,00	0,00	24,10	40,00
1949	24,00	7,00	18,00	24,00	17,00	26,00	15,00	16,00	46,00	12,00	54,00	14,00	54,00
1950	17,00	11,00	26,00	63,00	28,00	8,40	25,00	28,20	15,80	37,40	32,40	22,50	63,00
1951	25,40	17,20	19,00	99,20	48,90	12,20	15,00	34,20	27,50	27,60	102,50	83,00	102,50
1952	34,00	14,30	101,80	38,10	21,40	4,80	36,20	60,80	12,90	15,00	27,30	26,90	101,80
1953	13,00	12,80	34,80	96,00	16,50	63,00	12,20	3,10	26,50	69,80	43,60	65,30	96,00
1954	23,50	34,60	43,40	23,80	43,70	32,60	8,80	6,40	25,80	47,00	55,70	11,60	55,70
1955	49,30	43,60	16,00	22,60	27,00	32,00	9,00	14,30	8,40	71,30	40,00	43,70	71,30
1956	39,00	40,80	39,40	22,00	19,00	22,40	5,60	13,40	34,40	23,00	15,00	18,00	40,80
1957	14,00	25,50	31,80	30,80	55,40	32,70	0,00	7,20	25,20	47,80	27,00	10,20	55,40
1958	20,20	28,10	25,40	24,60	17,80	29,60	13,60	8,80	36,60	18,00	12,40	115,10	115,10
1959	32,60	10,30	25,40	17,90	39,50	13,20	11,00	28,40	34,30	41,40	28,40	23,60	41,40
1960	18,70	54,10	15,40	6,90	38,40	15,40	4,30	4,20	24,80	105,40	43,60	25,10	105,40
1961	12,90	6,40	20,00	70,00	38,30	21,10	9,40	8,00	105,80	24,80	107,30	33,60	107,30
1962	49,50	6,70	55,00	91,40	27,60	22,90	0,00	2,40	48,10	81,20	22,30	56,80	91,40

Tabla 3: Precipitaciones máximas mensuales entre 1946-2012.

Hecho esto, se calcularon las precipitaciones máximas probables mediante Gumbel, para ello se calculan los valores de diferencias cuadráticas:

$x_i$  = Precipitaciones máximas

en el año  $n$

$(x_i - \bar{x})^2$  = Diferencias cuadráticas

entre  $x_i$  y  $\bar{x}$

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			$x_i$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1946	0	70,00	23,3318274
2	1947	0	40,00	1213,15001
3	1948	0	40,00	1213,15001
4	1949	0	54,00	433,901524
5	1950	0	63,00	139,95607
6	1951	0	102,50	765,61213
7	1952	0	101,80	727,364555
8	1953	0	96,00	448,16
9	1954	0	55,70	365,97
10	1955	0	71,30	12,46
11	1956	0	40,80	1158,06
12	1957	0	55,40	377,54
13	1958	0	115,10	1621,65
14	1959	0	41,40	1117,59
15	1960	0	105,40	934,51
16	1961	0	107,30	1054,28
17	1962	0	91,40	274,55

Tabla 4: Precipitaciones máximas probables mediante Gumbel.

$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} =$	74,83	mm
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$	23,81	mm
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s =$	18,56	mm
$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha =$	64,11	mm

Figura 8: Cálculo de las variables probabilísticas.

A continuación, se calculan las precipitaciones diarias máximas probables para distintos periodos de retorno (T) mediante una distribución por Gumbel:

Expresión de Gumbel:  $F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-u)}{\alpha}}}$

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0,3665	70,9190	0,5000	80,1384
5	1,4999	91,9607	0,8000	103,9156
10	2,2504	105,8922	0,9000	119,6582
25	3,1985	123,4947	0,9600	139,5490
50	3,9019	136,5532	0,9800	154,3051
100	4,6001	149,5153	0,9900	168,9523
500	6,2136	179,4687	0,9980	202,7996

Tabla 5: Precipitaciones diarias máximas probables para distintos T.

Obteniéndose:

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	80.1384	103.9156	119.6582	139.5490	154.3051	168.9523	202.7996
18 hr	X18 = 91%	72.9260	94.5632	108.8890	111.6392	140.4176	153.7466	184.5476
12 hr	X12 = 80%	64.1107	83.1325	95.7266	111.6392	123.4441	135.1618	162.2397
8 hr	X8 = 68%	54.4941	70.6626	81.3676	94.8933	104.9275	114.8875	137.9037
6 hr	X6 = 61%	48.8844	63.3885	72.9915	85.1249	94.1261	103.0609	123.7078
5 hr	X5 = 57%	45.6789	59.2319	68.2052	79.5429	87.9539	96.3028	115.5958
4 hr	X4 = 52%	41.6720	54.0361	62.2223	72.5655	80.2386	87.8552	105.4558
3 hr	X3 = 46%	36.8637	47.8012	55.0428	64.1925	70.9803	77.7180	93.2878
2 hr	X2 = 39%	31.2540	40.5271	46.6667	54.4241	60.1790	65.8914	79.0918
1 hr	X1 = 30%	24.0415	31.1747	35.8975	41.8647	46.2915	50.6857	60.8399

Tabla 6: Precipitaciones máximas para distintos tiempos de duración y periodos de retorno.

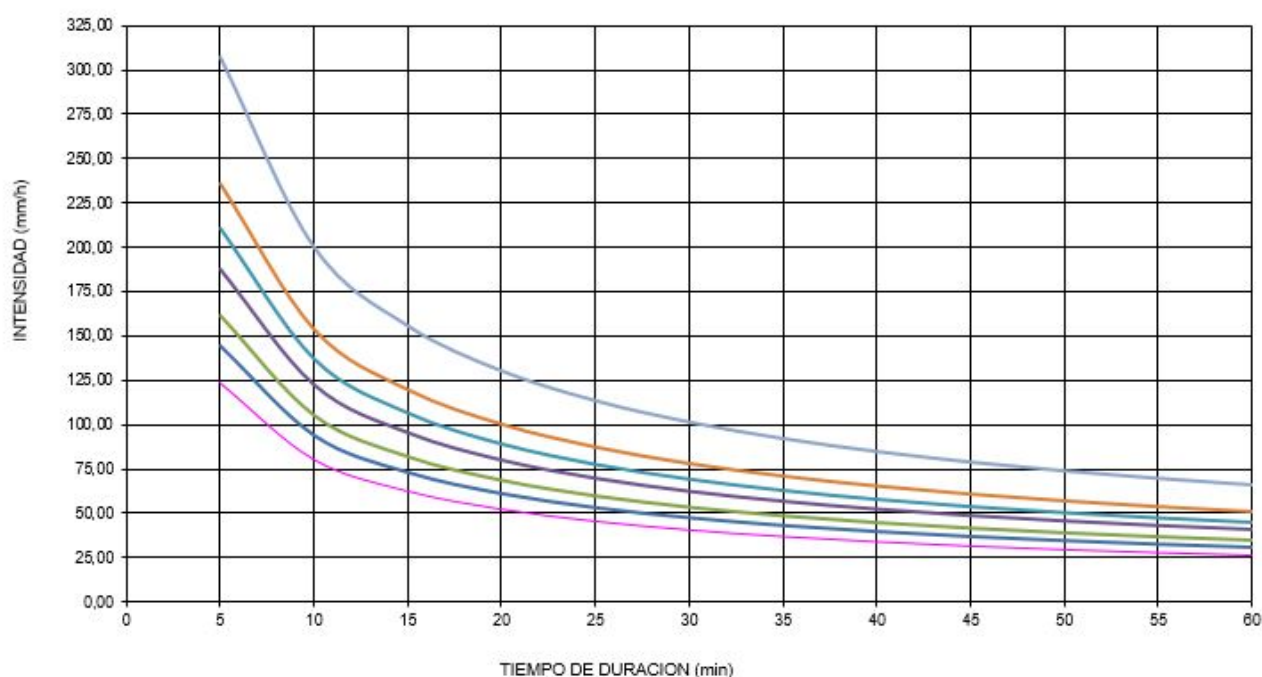


Figura 9: Curvas IDF

Del anterior gráfico se obtienen los valores de intensidad, duración, frecuencia, representados a continuación a modo de tabla con el fin de poder tomar los valores con mayor precisión obteniendo con ellos los caudales punta que introduciremos al Software.

Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	124,22	80,89	62,94	52,68	45,88	40,99	37,26	34,30	31,89	29,88	28,17	26,69
5	144,35	94,00	73,14	61,21	53,31	47,63	43,29	39,86	37,06	34,72	32,73	31,01
10	161,71	105,30	81,94	68,57	59,73	53,36	48,50	44,65	41,51	38,89	36,67	34,74
25	187,91	122,36	95,21	79,68	69,40	62,00	56,36	51,89	48,24	45,20	42,61	40,37
50	210,51	137,08	106,66	89,27	77,75	69,46	63,14	58,13	54,04	50,63	47,73	45,23
100	235,83	153,57	119,49	100,01	87,11	77,81	70,73	65,12	60,54	56,72	53,47	50,67
500	307,01	199,92	155,55	130,19	113,39	101,30	92,08	84,78	78,82	73,84	69,61	65,96

Tabla 7: Intensidades-duración-frecuencia.

Como ya se expuso anteriormente, en el estudio de inundabilidad se analizarán 8 escenarios distintos, tomando intensidades a los 10, 20, 30, y 60 minutos para los T=100 y T=500 años. Con lo que se obtendrán 8 hidrográmas con sus respectivos caudales punta (el caudal punta es un dato fundamental para la ejecución del modelo en HEC-RAS).

Para agilizar el proceso, al tener varios hidrogramas por calcular se ha programado una plantilla Excel (Figura 10), con las expresiones matemáticas que se muestran a continuación:

### 5.2.4 OBTENCIÓN DE LOS HIDROGRAMAS ADIMENSIONALES DEL SCS.

Expresiones matemáticas a utilizar:

$t_c$  = Tiempo de concentración.  
 $J$  = Pendiente media.  
 $L$  = Longitud del cauce principal.

$$t_c = 0,3 \times \left( \frac{L}{J^{0,25}} \right)^{0,76}$$

$t_{lag}$  = Tiempo de retardo.  $\longrightarrow t_{lag} = 0,35 \times t_c$

$t_p$  = Tiempo pico.  
 $D$  = Duración de la lluvia.

$$t_p = 0,5 \times D + t_{lag}$$

$t_b$  = tiempo base.  $\longrightarrow t_b = D + t_c$

$Q$  = Caudal punta  
 $A$  = Área de la cuenca  
 $P$  = Precipitación neta

$$Q = \frac{(P \times A)}{1,8 \times t_b}$$

Para realizar los hidrogramas adimensionales del SCS se han obtenido en primer lugar los respectivos hidrogramas triangulares (Figura 11), en los que la punta del hidrograma corresponde con el caudal punta, mientras en el eje de abscisas se representa el tiempo base.

Se muestra a modo de ejemplo el hidrograma triangular para  $T = 500$  a los 60 minutos, realizándose igual para el resto de hidrogramas:

CÁLCULO DE LOS HIDROGRAMAS ADIMENSIONAL SCS					
DATOS DE PARTIDA	Valor	Uds	PARÁMETROS A CALCULAR		
Long Cauc ppal L=	3,813	Km	tc	1,092643139	
Pendiente J=	0,23472331		tlag	0,382425099	
T concentración tc=	1,09264314		tp	0,882425099	
Duración lluvia D=	1	horas	tb	2,092643139	
Precip neta Pn=	13,0854525	mm	Qp	92,13557214	m3/s
Área cuenca A=	26,522	Km2			
Cota del pto más alto =	1,755	Km			
Cota del pto más bajo =	0,86	Km			
Precipitación max P=	65,96	mm			
P0 ponderado=	21,416702				
Area1	1,958	Km2	1,958	Km2 ÁREA URBANA	
P01	6		6		
Area2	0,048078	Km2	0,0481	Km2 ÁREA EMBALSES	
P02	0		0		
Area 3	24,5159	Km2	24,516	Km2 ÁREA FORESTAL	

Figura 10: Hoja de cálculo para obtener los hidrogramas triangulares.

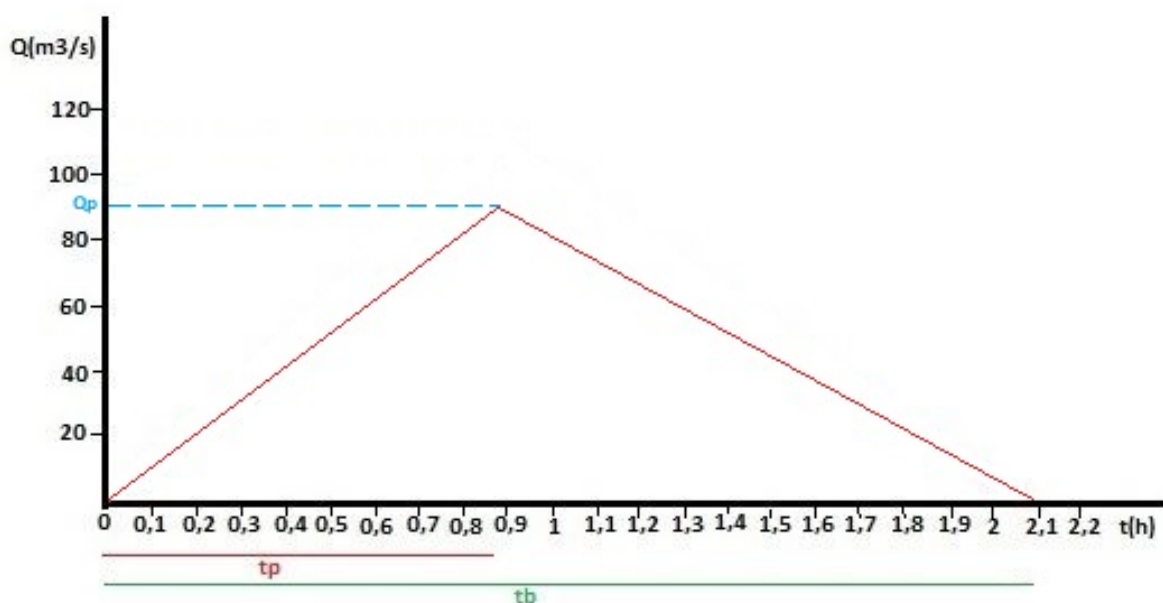


Figura 11: Hidrograma triangular para T=500 para un aguacero de 60 min.

Partiendo del hidrograma triangular obtenido anteriormente se calcula el hidrograma adimensional del SCS (Figura 12), multiplicando el caudal punta y el tiempo punta por sus respectivas coordenadas:

t/tp	Q/Qq	t/tp	Q/Qq
0.0	0	1.4	0.75
0.1	0.015	1.5	0.65
0.2	0.075	1.6	0.57
0.3	0.16	1.8	0.43
0.4	0.28	2.0	0.32
0.5	0.43	2.2	0.24
0.6	0.6	2.4	0.18
0.7	0.77	2.6	0.13
0.8	0.89	2.8	0.098
0.9	0.97	3.0	0.075
1.0	1	3.5	0.036
1.1	0.98	4.0	0.018
1.2	0.92	4.5	0.009
1.3	0.84	5.0	0.004

Tabla 8: Coordenadas del Hidrograma adimensional del SCS.

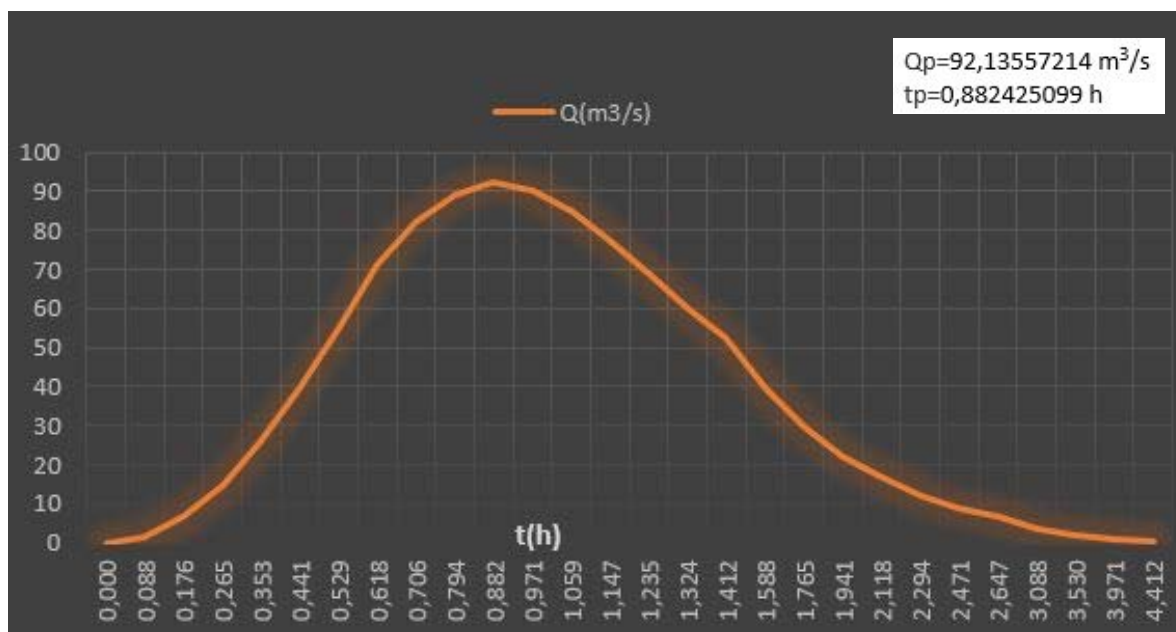


Figura 12: Hidrograma Adimensional SCS para T=500 para un aguacero de 60 min.



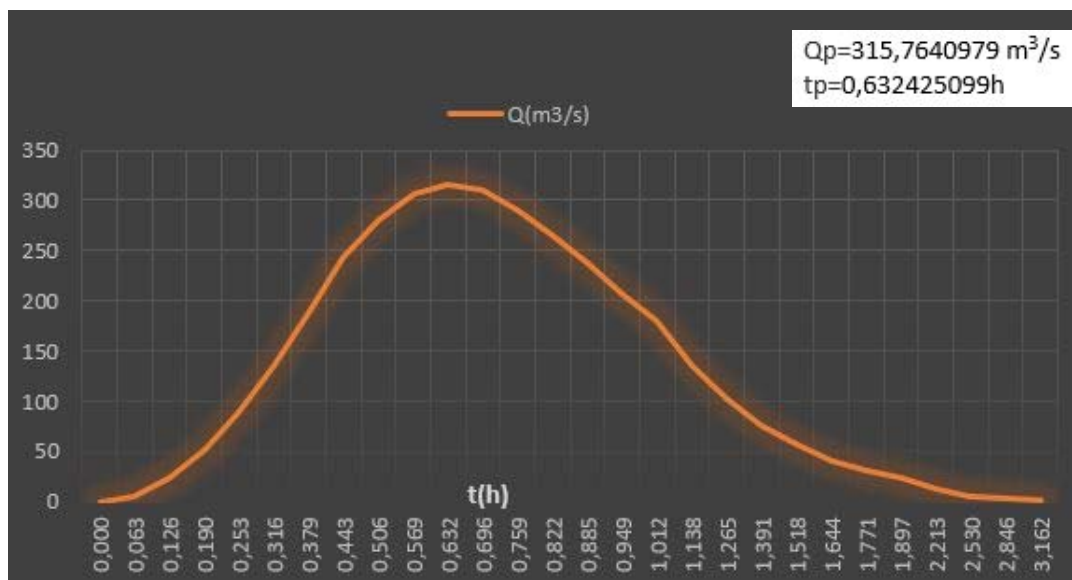


Figura 13: Hidrograma Adimensional SCS para T=500 para un aguacero de 30 min.

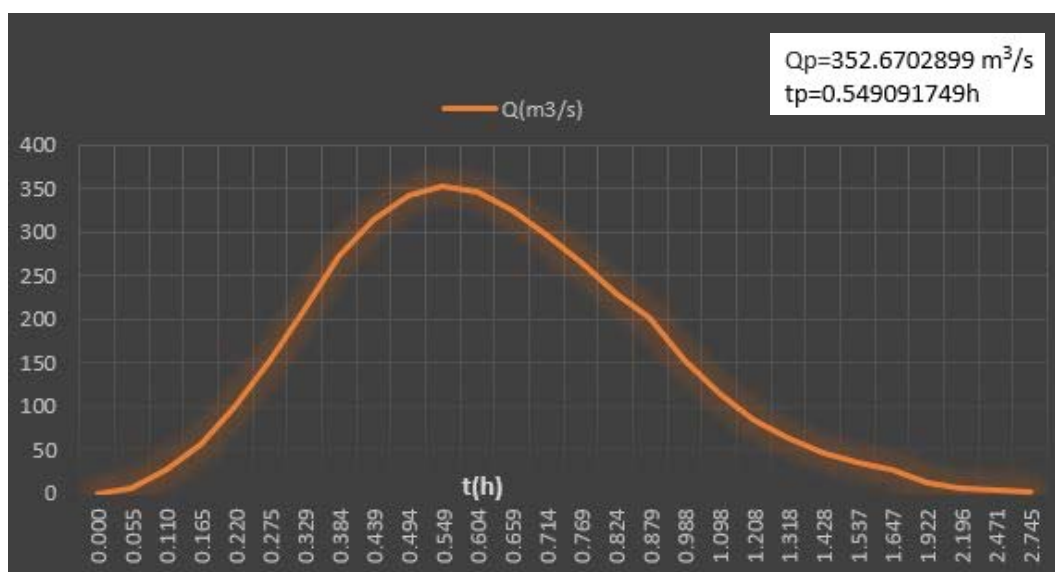


Figura 14: Hidrograma Adimensional SCS para T=500 para un aguacero de 20 min.

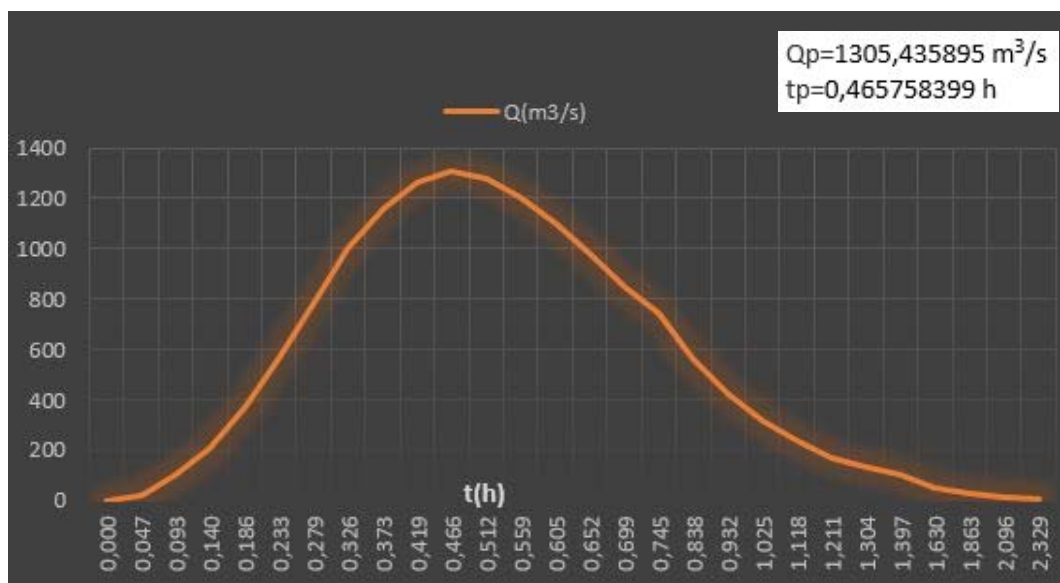


Figura 15: Hidrograma Adimensional SCS para T=500 para un aguacero de 10min.

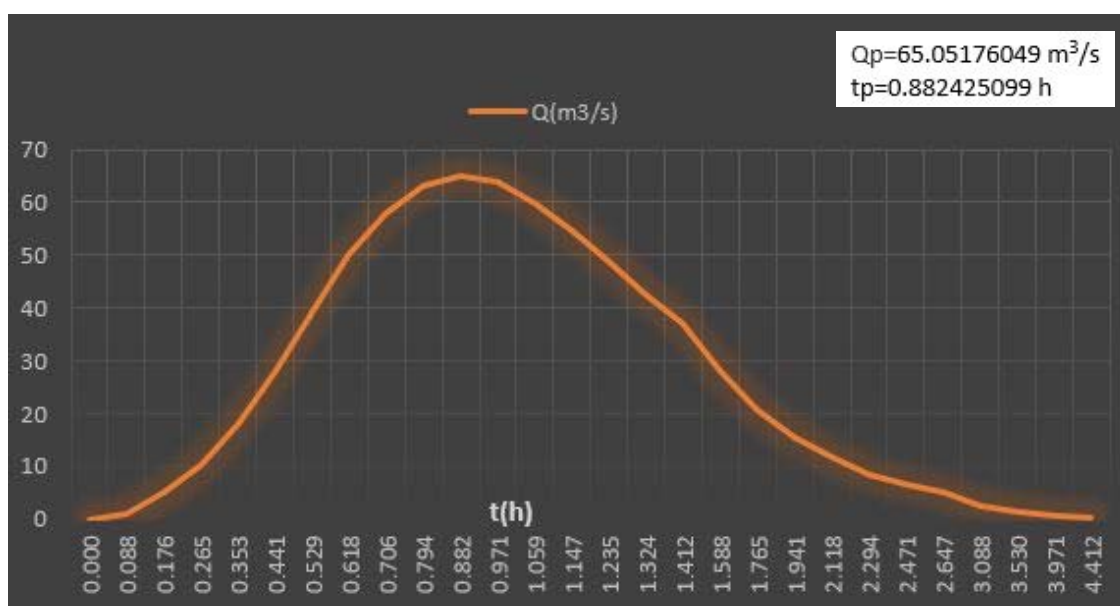


Figura 16: Hidrograma Adimensional SCS para T=100 para un aguacero de 60 min.

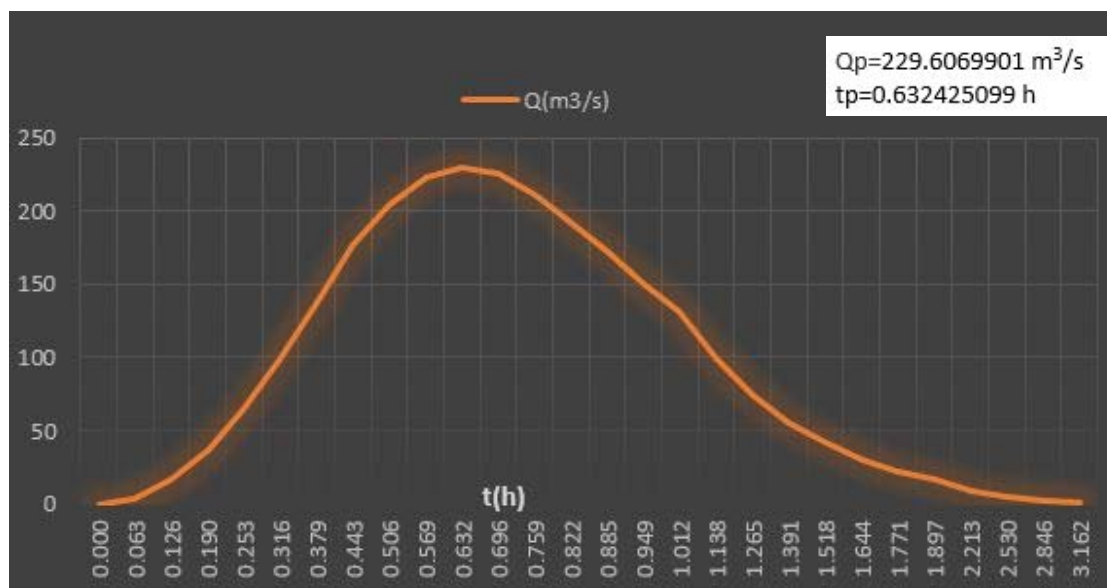


Figura 17: Hidrograma Adimensional SCS para  $T=100$  para un aguacero de 30 min.

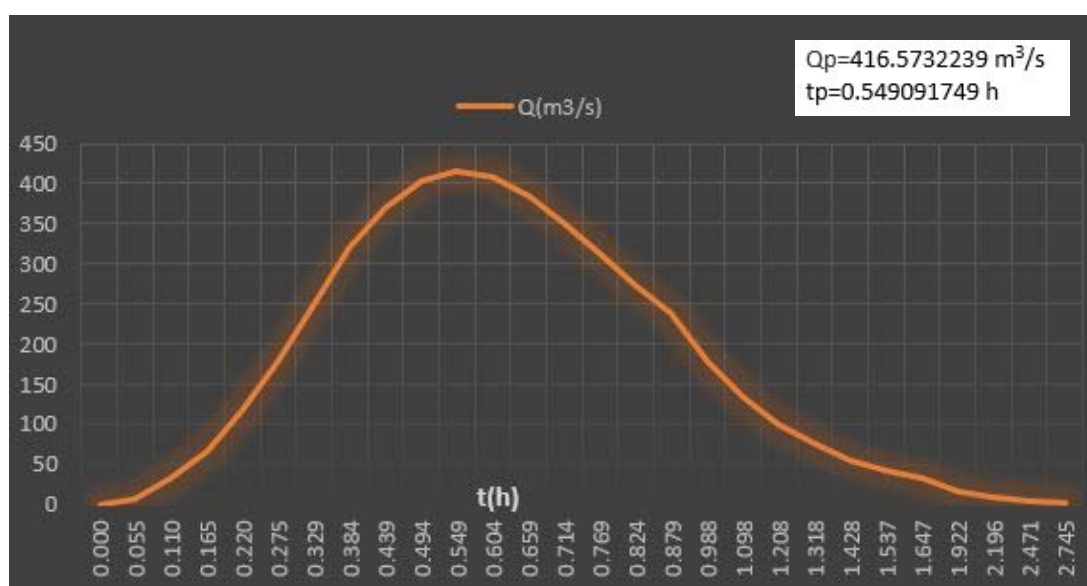


Figura 18: Hidrograma Adimensional SCS para  $T=100$  para un aguacero de 20 min.

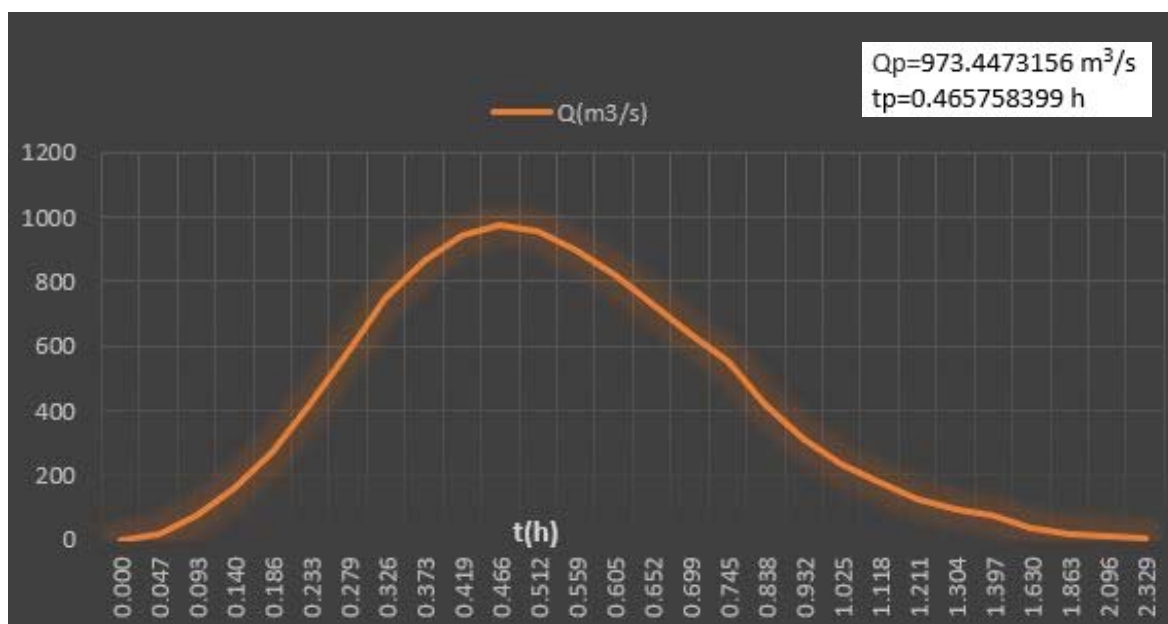


Figura 19: Hidrograma Adimensional SCS para T=100 para un aguacero de 10min.

## 5.3 HIDRAÚICA

### 5.3.1 MODELO HEC-RAS SOBRE MDE.

#### 5.3.1.1 RÉGIMEN PERMANENTE

A continuación, se procede a realizar una modelización de la inundación para un periodo de retorno T=500 años en régimen permanente (caudal constante), para ello se requiere el empleo de los software: Hec-Ras 5.0 y Arc-Map 10.3.

Arc-Map:

En primer lugar: Importamos el MDE y la ortofoto en Arc-Map, teniendo estos dos archivos como dato de partida, utilizamos la herramienta Hec-GeoRas para digitalizar el cauce del río (Figura 20), así como los cajeros de este, (la digitalización se realiza sobre el MDE y con la ayuda de la ortofoto).

- La digitalización del cauce se realiza mediante la herramienta: RASGeometry→Create RAS Layers→Stream CenterLine.
- La digitalización de los cajeros se realiza mediante la herramienta: RASGeometry→Create RAS Layers→Bank Lines.



— Cauce del río.

— Cajeros.

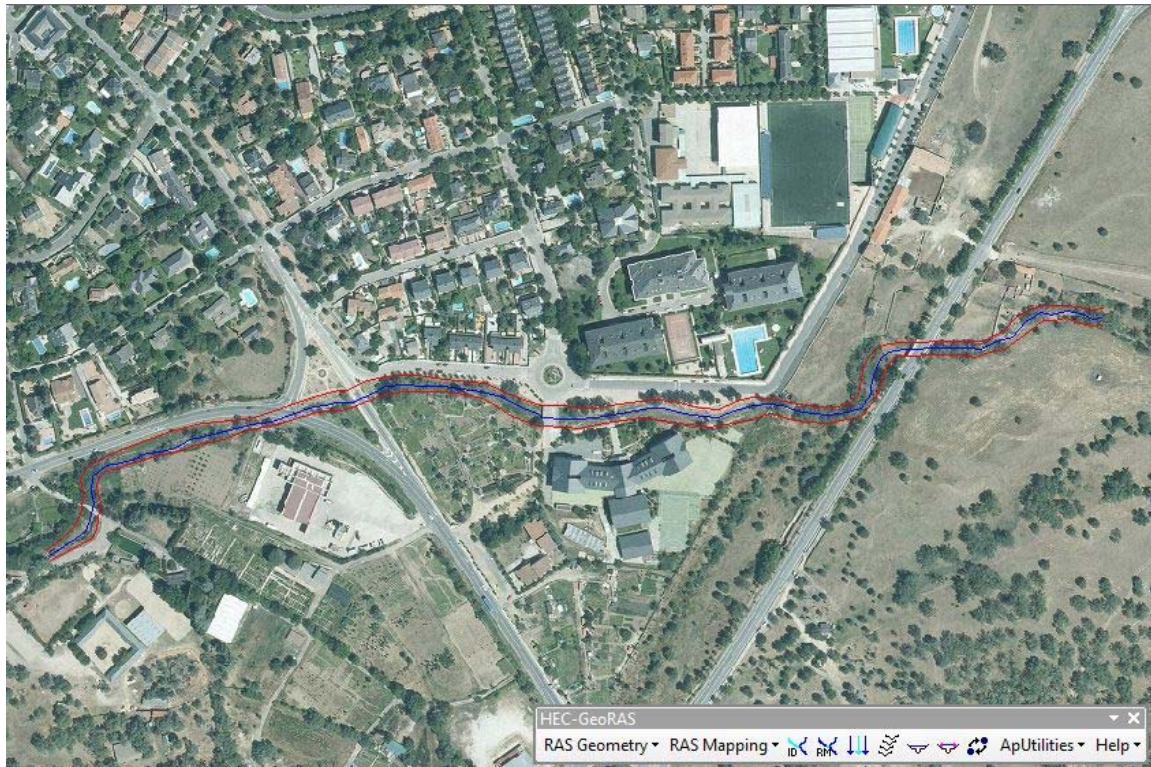


Figura 20: Digitalización del cauce del río y cajeros.

El siguiente paso será determinar la dirección del flujo sobre el MDE (Figura21), mediante la herramienta: RASGeometry→Create RASLayers→Flow Path Centerlines.

— Dirección del flujo

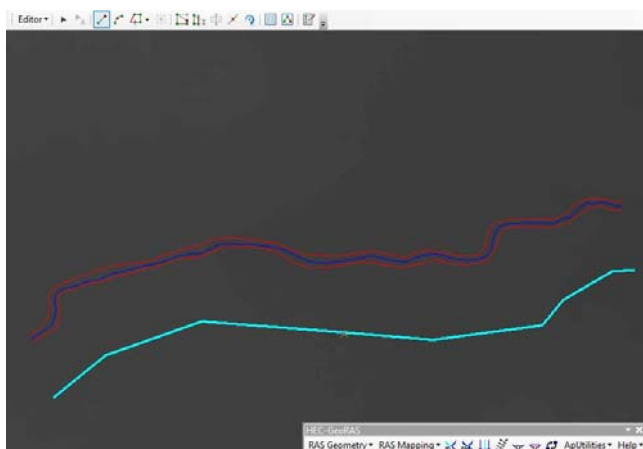


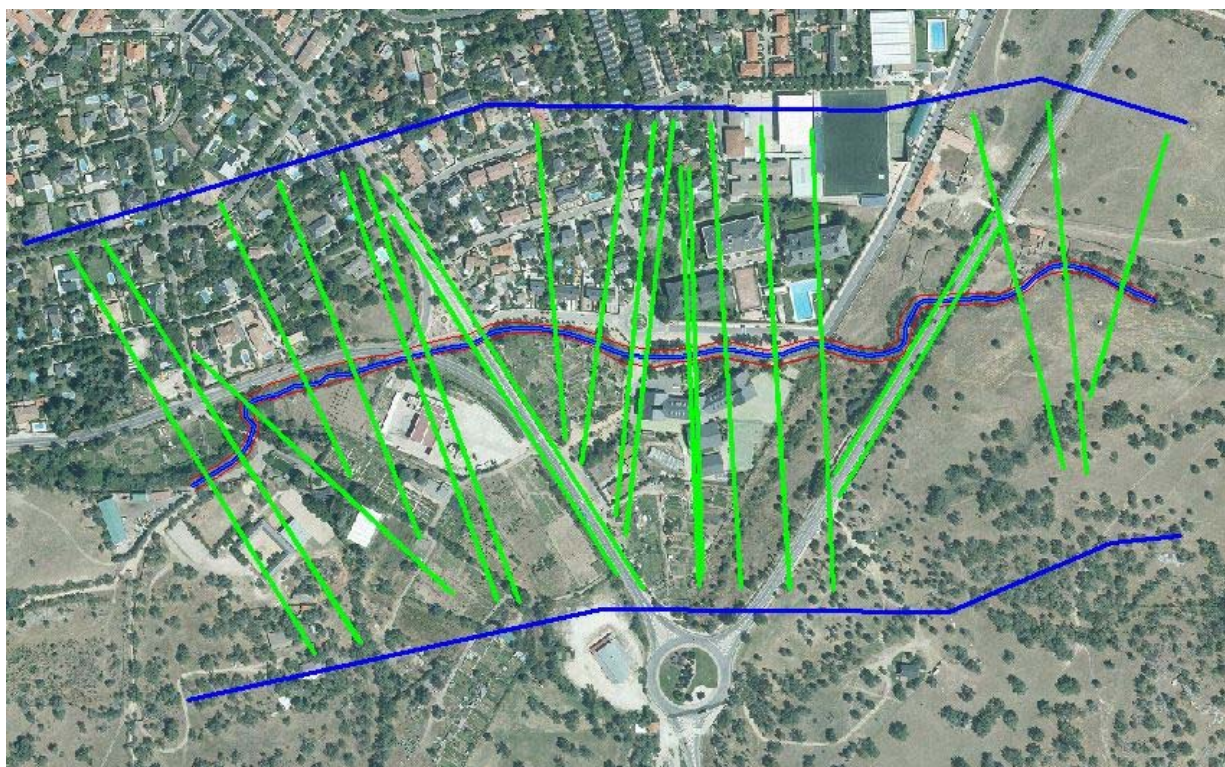
Figura 21: Dirección del flujo.



Por último, queda definir las secciones transversales al río (Cross Sections), el software permite trazarlas a la distancia deseada, en este caso se trazarán en cada cambio de dirección, pendiente, rugosidad... en definitiva en cada tramo no uniforme del río, siendo el total 23 Cross Sections (Figura22).

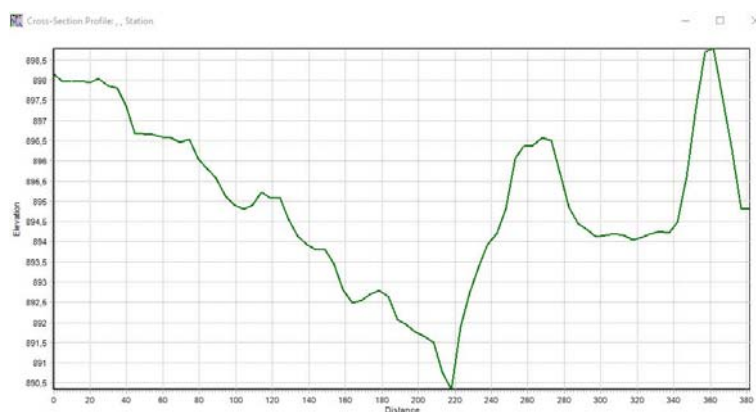
Para trazar las Cross Sections: RASGeometry→Create RASLayers→XS Cut Lines.

— Cross Sections



**Figura 22: Cross Sections.**

De forma que si clicamos en cada una de las secciones trazadas podemos observar el perfil natural del río (Figura 23):



**Figura 23: Sección perpendicular a la dirección del río.**

Tan sólo queda exportar el archivo a Hec-Ras 5.0 (Figura 24) para poder introducir los datos de flujo y pendiente, con los que ejecutaremos el modelo. Para ello basta con clicar en RasGeometry→Export Ras Data.

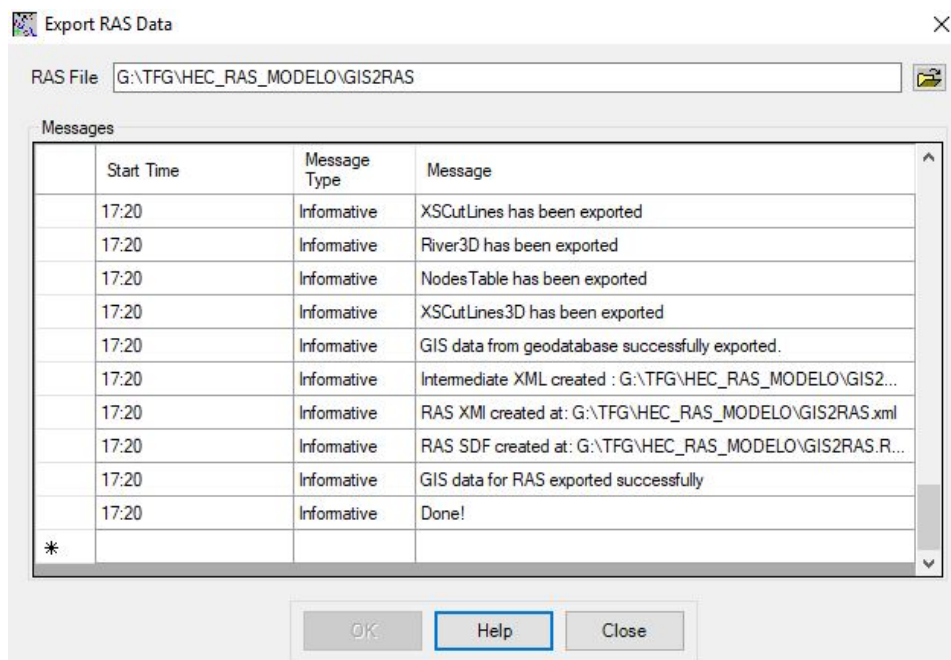


Figura 24: Exportando a Hec-Ras 5.0

Abrimos Hec-Ras 5.0, e importamos la geometría definida en Arc-Map, así como las secciones perpendiculares a la dirección del flujo (Figuras 25/26):

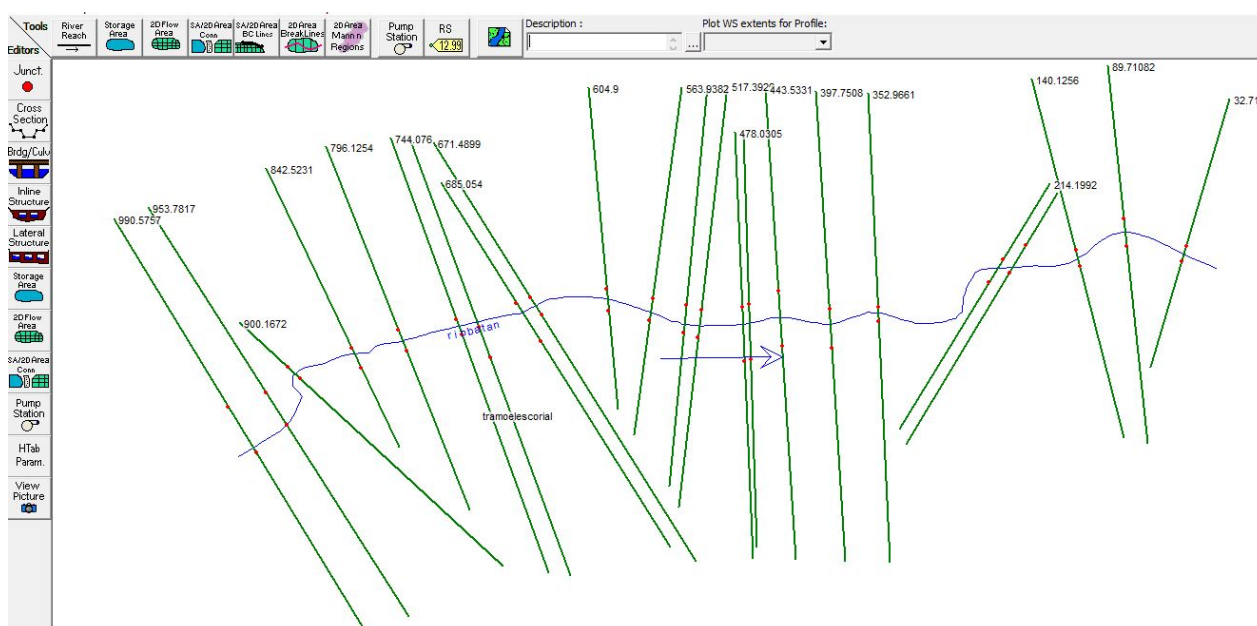


Figura 25: Geometría del tramo estudiado y Cross Section.



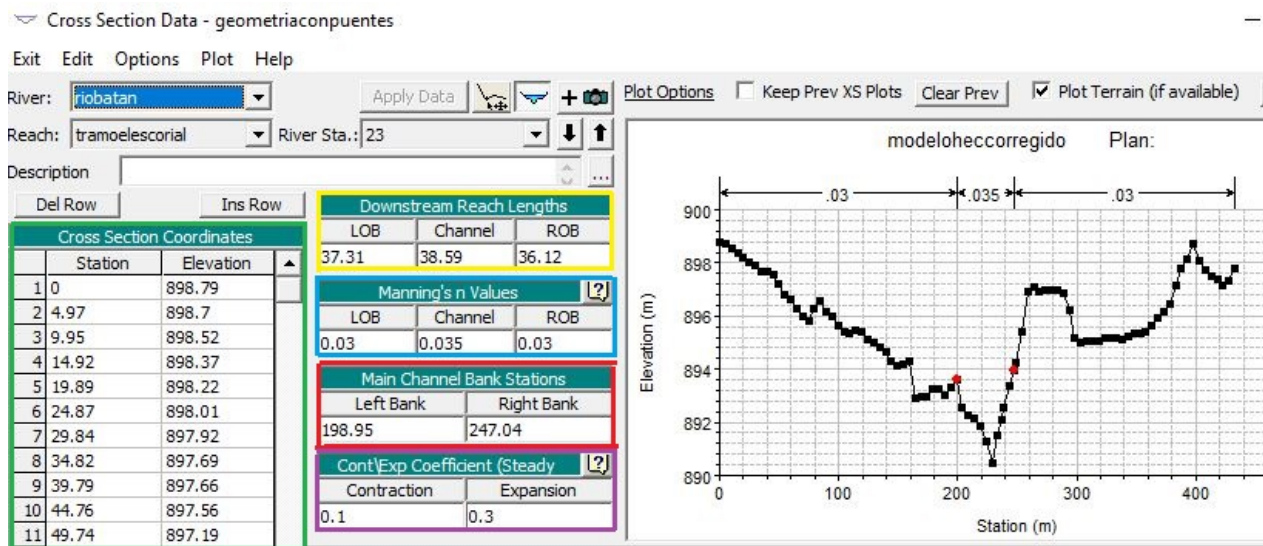


Figura 26: Sección 23 importada a Hec-Ras.

- Coordenadas (x,y) de la sección 23.
- Distancia del tramo izquierdo, central y derecho a la sección inmediata aguas abajo.
- Coeficientes de Manning (Figura 27).
- Coordenadas x que definen el cauce principal (por el que circula el caudal dominante o formativo).
- Coeficientes de contracción y expansión.

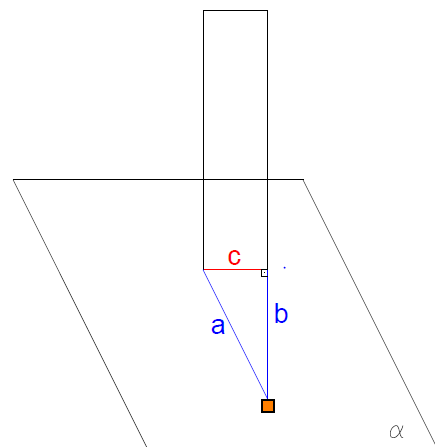
Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
<b>A Cauces naturales</b>			
<b>A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida &lt; 30 m)</b>			
<b>A.1.1 Cursos en planicies</b>			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
- Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	0,035	0,040
- Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0,033	0,040	0,045
- Meandros con algunas piedras y pastos	0,035	0,045	0,050
- Meandros con muchas piedras	0,045	0,050	0,060
- Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
- Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0,075	0,100	0,150
<b>A.1.2 Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida</b>			
- Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
- Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0,040	0,050	0,070
<b>A.2 Cursos en planicies inundadas</b>			
<b>A.2.1 Zonas de pastos, sin arbustos</b>			
- Pasto corto	0,025	0,030	0,035
- Pasto alto	0,030	0,035	0,050
<b>A.2.2 Zonas cultivadas</b>			
- Sin cultivo	0,020	0,030	0,030
- Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0,025	0,035	0,045
- Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0,030	0,040	0,050

Figura 27: Coeficientes de Manning.

Para terminar con la geometría, sólo queda introducir los distintos puentes que atraviesa el río a su paso por el municipio de El Escorial, 5 puentes en total (Figuras 29/30).

Las medidas de los puentes (tablero, pilas, vanos, etc) se tomaron mediante un exhaustivo trabajo en campo, utilizando para ello un medidor laser (Leica Disto X310). Este medidor nos proporciona medidas bastante precisas para pequeñas distancias, tales como el ancho de las pilas, el ancho del tablero o el vano del puente.

El manejo de dicho medidor laser es sencillo, y se fundamenta en el teorema de Pitágoras (Figura 28), de manera que desde un punto fijo situamos el medidor laser, y encontrándose éste en un plano horizontal (utilizando para ello los niveles que dispone), colimamos a uno de los extremos de la pila, registrándose en la memoria del láser la distancia como un cateto del triángulo rectángulo (b), la segunda colimación la realizamos al otro extremo de la pila, la cual queda registra como hipotenusa del triángulo(a), con lo que la tercera medida(c), que será el ancho de la pila (cateto del triángulo) la obtiene automáticamente el medidor despejando de la ecuación:  $a^2 = b^2 + c^2 \rightarrow c^2 = a^2 - b^2$



**Figura 28: Esquema Medición de una Pila del puente.**

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
2.3	9	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream			Downstream		
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1 0.	889.	887.82	0.	889.	885.45
2 134.67	889.	887.82	165.18	889.	887.81
3 134.67	889.	888.7	165.18	889.	887.81
4 149.64	889.	888.7	183.37	889.	887.81
5 149.64	889.	887.82	183.37	889.	885.45
6 389.05	889.	887.82	446.04	889.	885.45
7					
8					

**Figura 29: Características geométricas del tablero del puente.**

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 1

Del Row Centerline Station Upstream 139.66

Ins Row Centerline Station Downstream 168.5

Floating Pier Debris

All On ... All Off ... ☐ Apply floating debris to this pier

Set Wd/Ht for all ... Debris Width: Debris Height:

Upstream		Downstream	
Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation
1 1.4	887.86	1.4	886.58
2 1.4	890.5	1.4	890.4

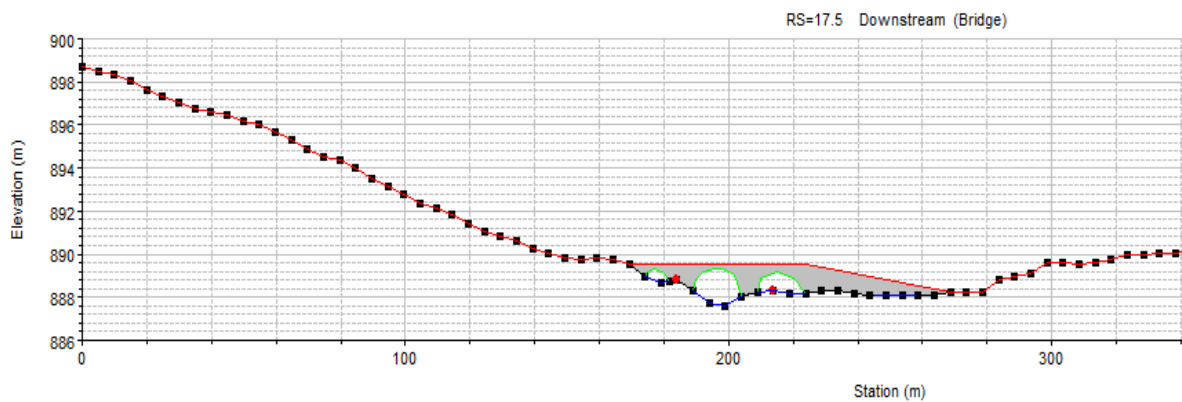
**Figura 30: Características geométricas de las pilas del puente.**

— Distancia en planta de la sección aguas arriba del puente al principio del tablero de este.

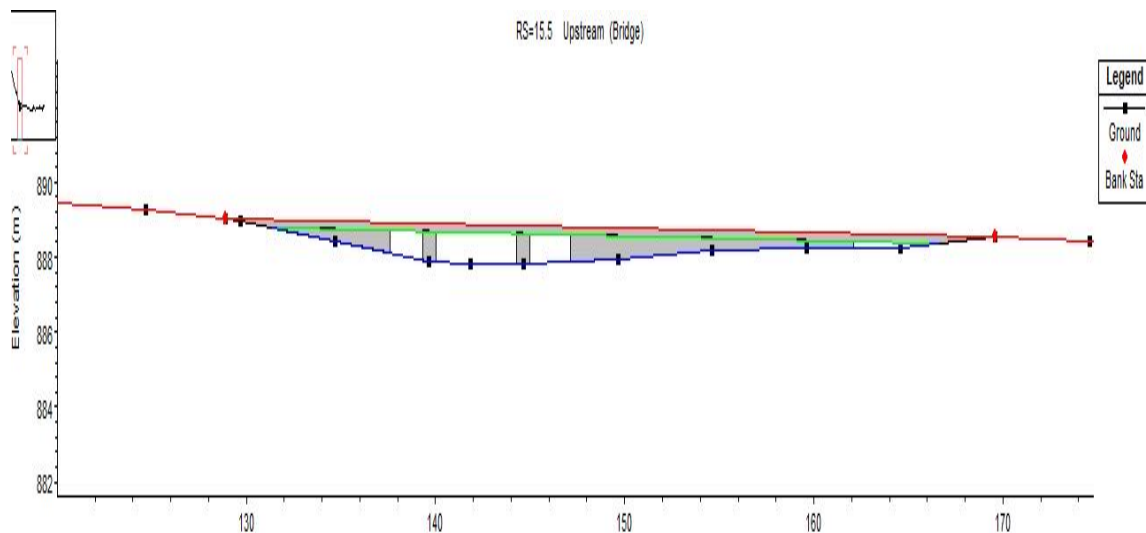
— Ancho del tablero.

— Coordenadas (x,y) del tablero.

A continuación, se procede a mostrar los cinco puentes modelizados en Hec-Ras (Figuras 31, 32, 33, 34, 35, 36), se mostrarán en el sentido de la corriente (aguas arriba-aguas abajo).



**Figura 31: Puente carretera M-505.**



**Figura 32: Puente carretera Barrio Cruz.**

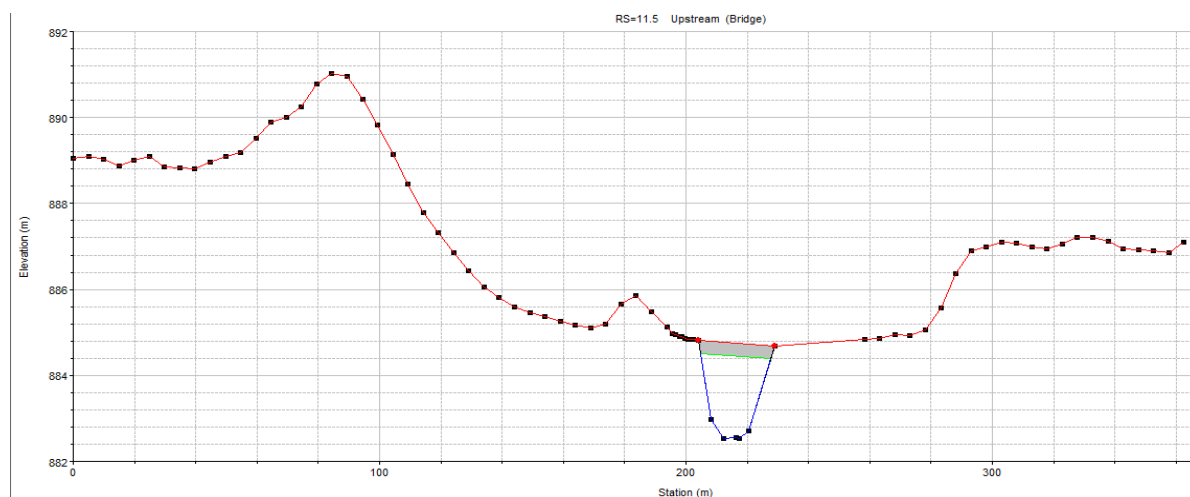


Figura 33: Puente de acceso al instituto público IES El Escorial.

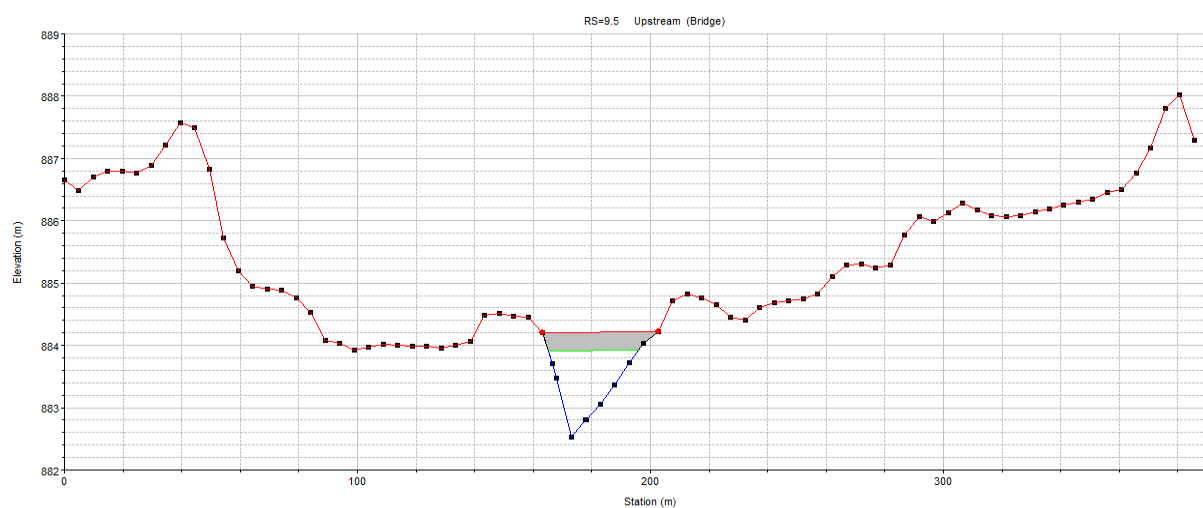


Figura 34: Segundo puente de acceso al instituto público IES El Escorial.

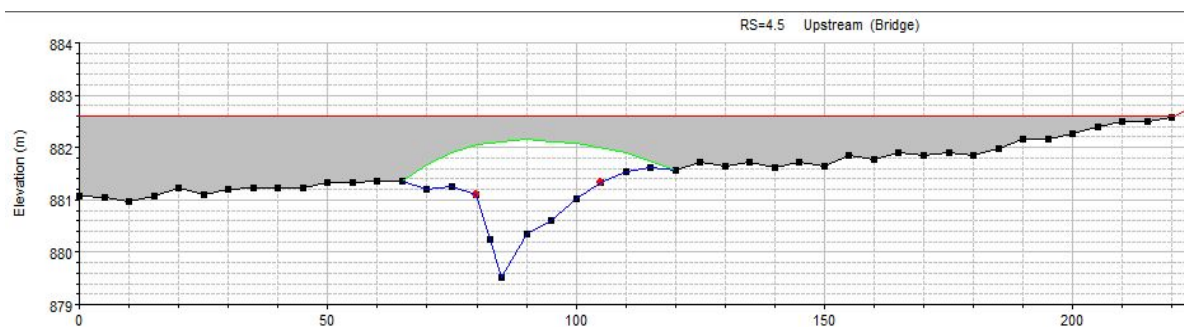


Figura 35: Puente carretera M-600.

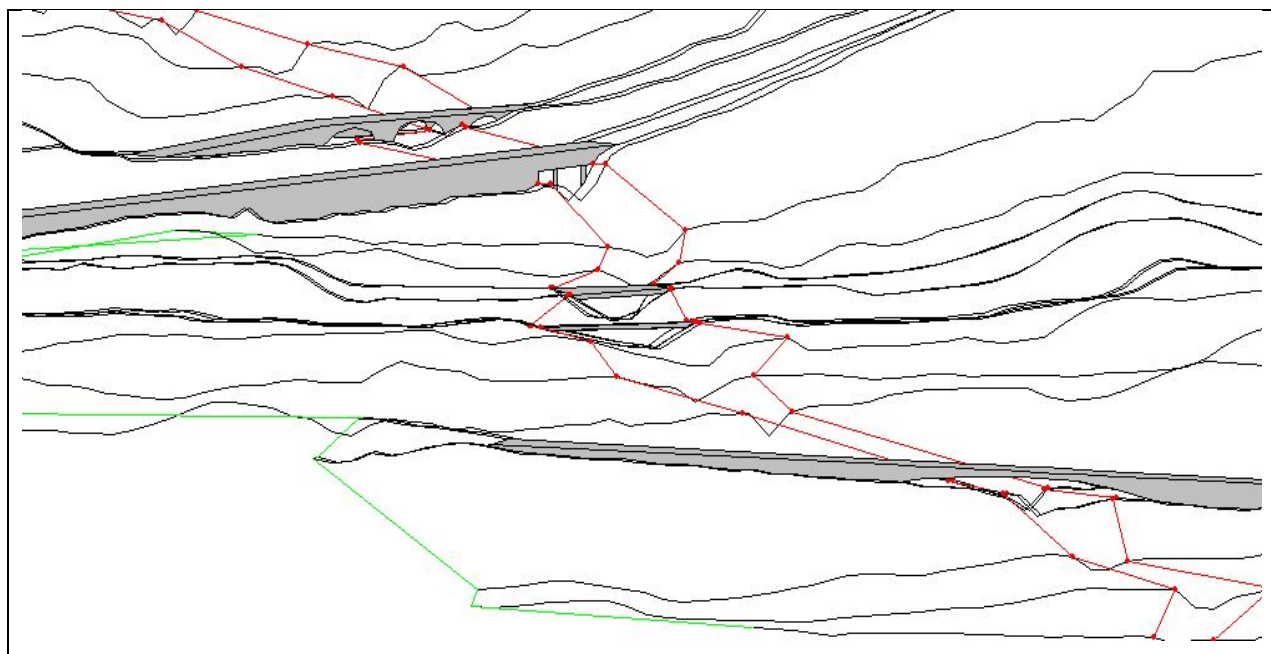


Figura 36: Vista 3D con los cinco puentes modelizados en HEC-RAS.

Por último, antes de ejecutar el modelo, definimos las condiciones de contorno. Introduciremos el caudal punta asociado a un  $T=500$  años (Figura 37), que obtenido con el Hidrograma presenta un valor de  $Q_p = 92.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , se realiza con este caudal pues es el que corresponde a una duración de la lluvia igual al tiempo de concentración de la cuenca de  $t_c=1\text{h}$ . Se analiza el evento en Régimen permanente.

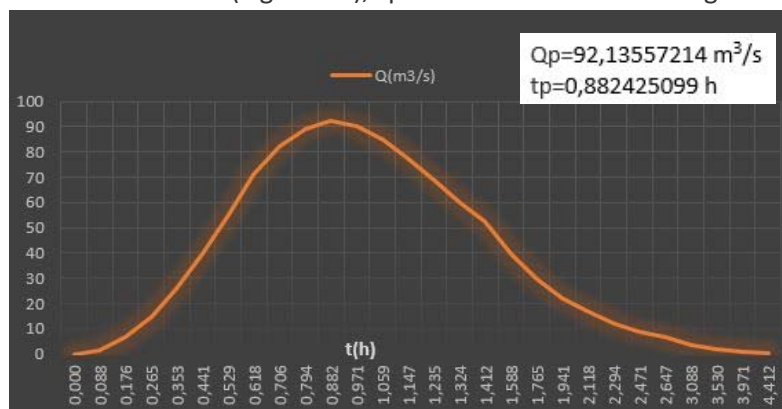


Figura 37: Hidrograma para T=500 años para un aguacero de 60 min.

**Steady Flow Data**

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max):  Reach Boundary Conditions ... Apply Data

**Locations of Flow Data Changes**

River:  Add Multiple...

Reach:  River Sta.:  Add A Flow Change Location

Flow Change Location				Profile Names and Flow
River	Reach	RS	PF 1	
1 riobatan	tramoelescorial	23	92.1	

**Figura 38: Condiciones de flujo, caudal 92.1m<sup>3</sup>/s para T=500.**

Para introducir las condiciones de contorno (Figura 39), tenemos que calcular la pendiente del río, el procedimiento a seguir es: Conociendo las coordenadas (x,y) de todas las secciones tomadas, y la distancia en planta entre secciones, podemos calcular las pendientes entre distintos tramos mediante la ecuación:

$$i = \Delta y / \Delta x$$

Calcularemos distintas pendientes, por ejemplo: Entre la primera sección 23 y la última 1, entre la 23 y la 3, entre la 23 y la 14...

Ejecutaremos el programa con el caudal de 92,1 m<sup>3</sup>/s y las distintas pendientes (Figura 38), buscando una convergencia. Encontrada esta, sabremos entre que secciones el modelo funciona adecuadamente y por tanto los resultados son representativos y correctos.

Es evidente que, dada la baja pendiente del río, el régimen será subcrítico/lento, con lo que introduciremos la pendiente aguas abajo, indicando calado normal.

$$i_{23-1} = 0,018$$

#### Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles ☐ Set boundary for one profile at a time

**Available External Boundary Condition Types**

Known W.S. Critical Depth Normal Depth Rating Curve Delete

**Selected Boundary Condition Locations and Types**

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
riobatan	tramoelescorial	all		Normal Depth S = 0.018

**Figura39: Condiciones de contorno.**



Ejecutamos:

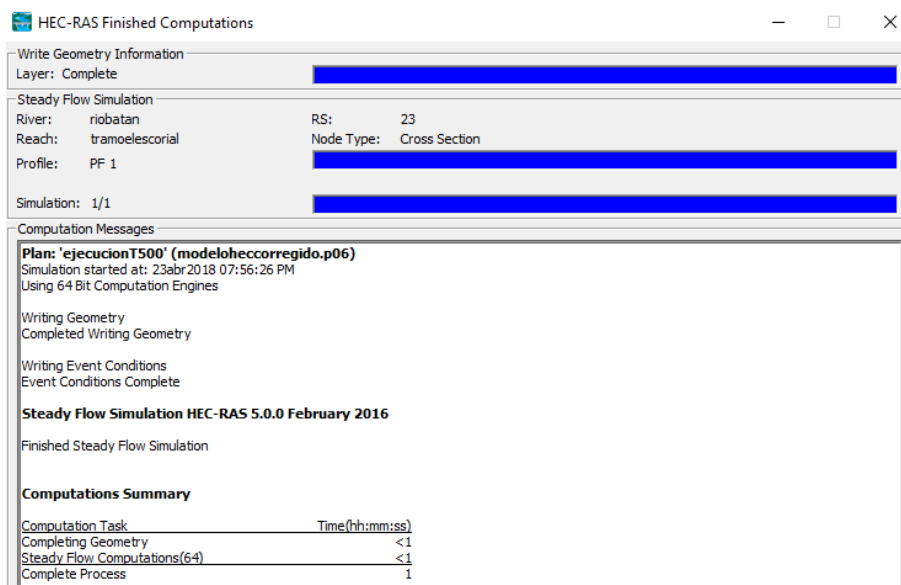


Figura 40: Fin de la ejecución del modelo.

Obtenemos los resultados gráficos y tablas de resultados (Figuras 41,42,43,44,45,46,47,48,49,50):

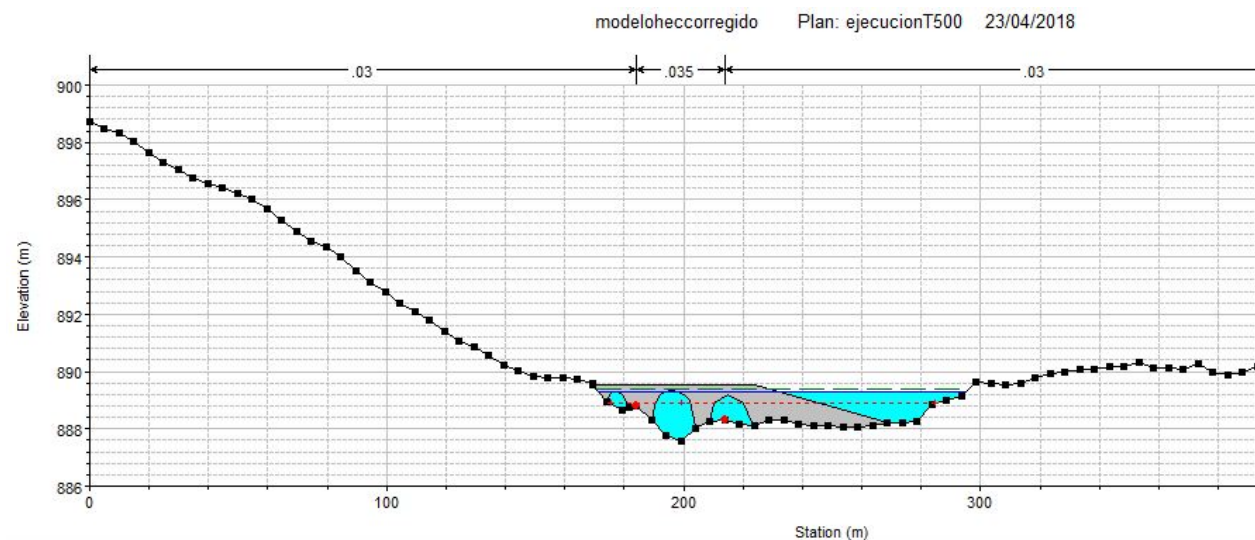


Figura 41: Lámina de agua en la sección 15.5.

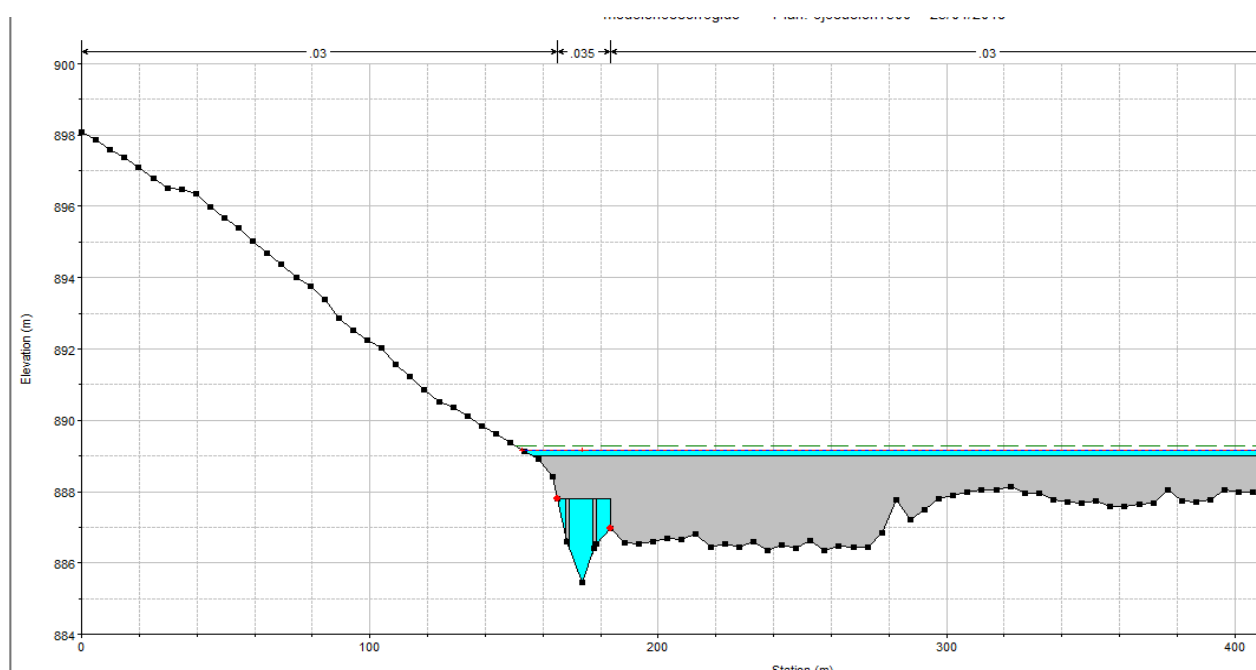


Figura 42: Lámina de agua en la sección 17.5.

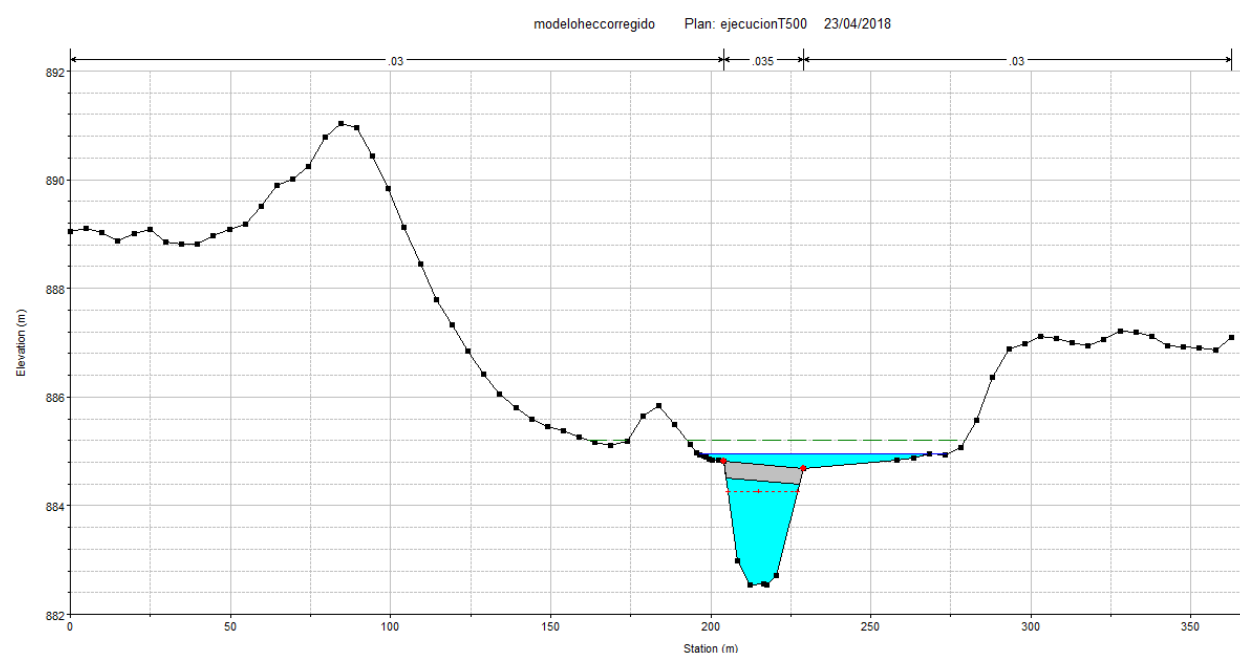


Figura 43: Lámina de agua en la sección 11.5.

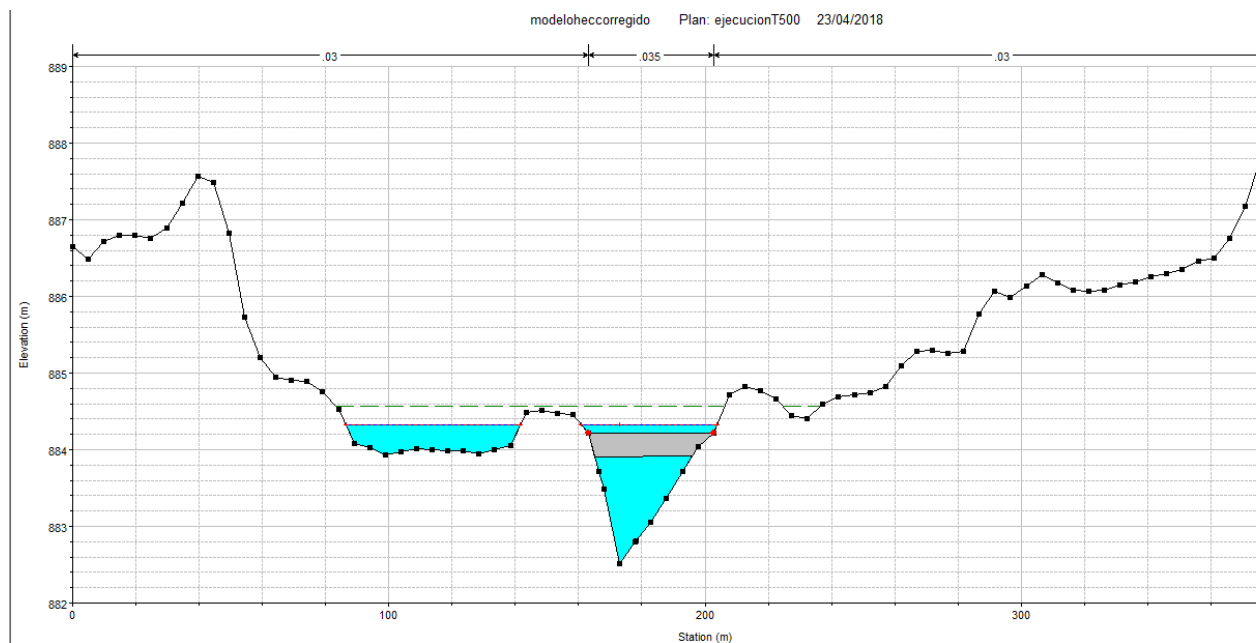


Figura 44: Lámina de agua en la sección 9.5.

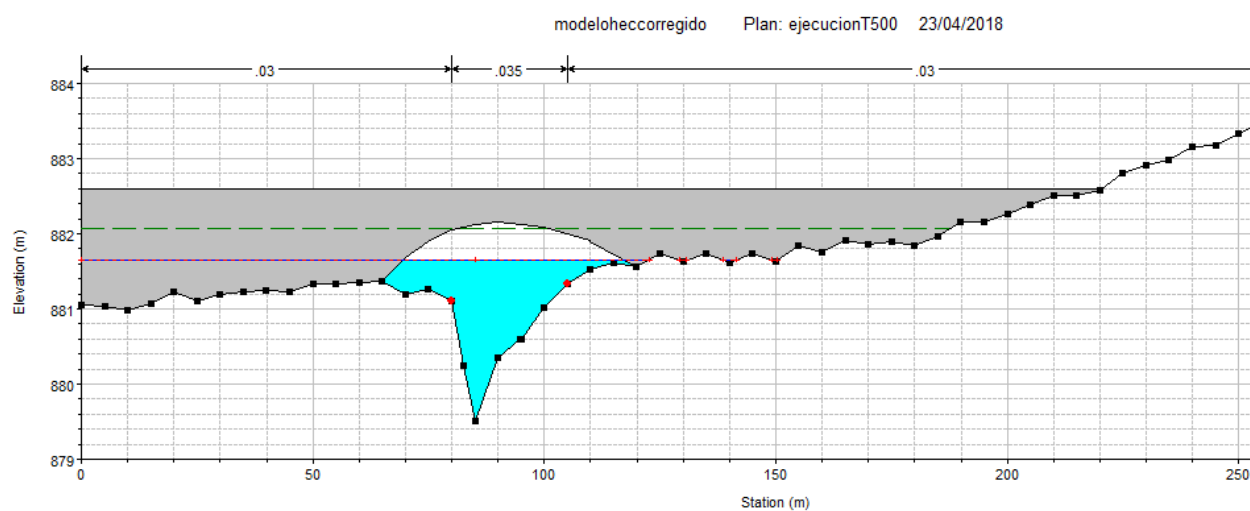


Figura 45: Lámina de agua en la sección 4.5.

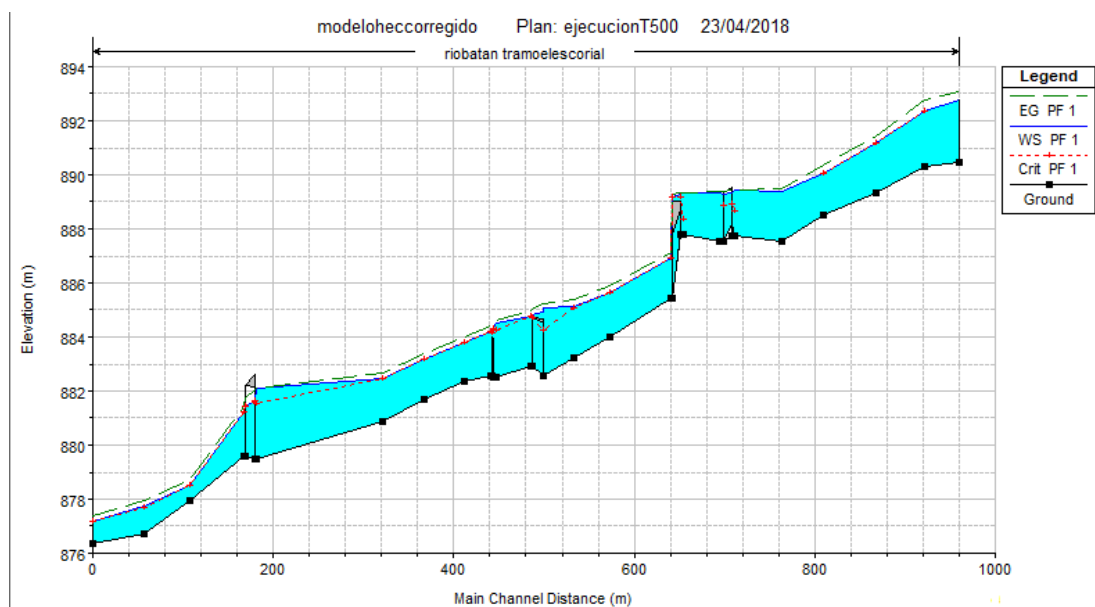


Figura 46: Perfil de la lámina de agua en el cauce.

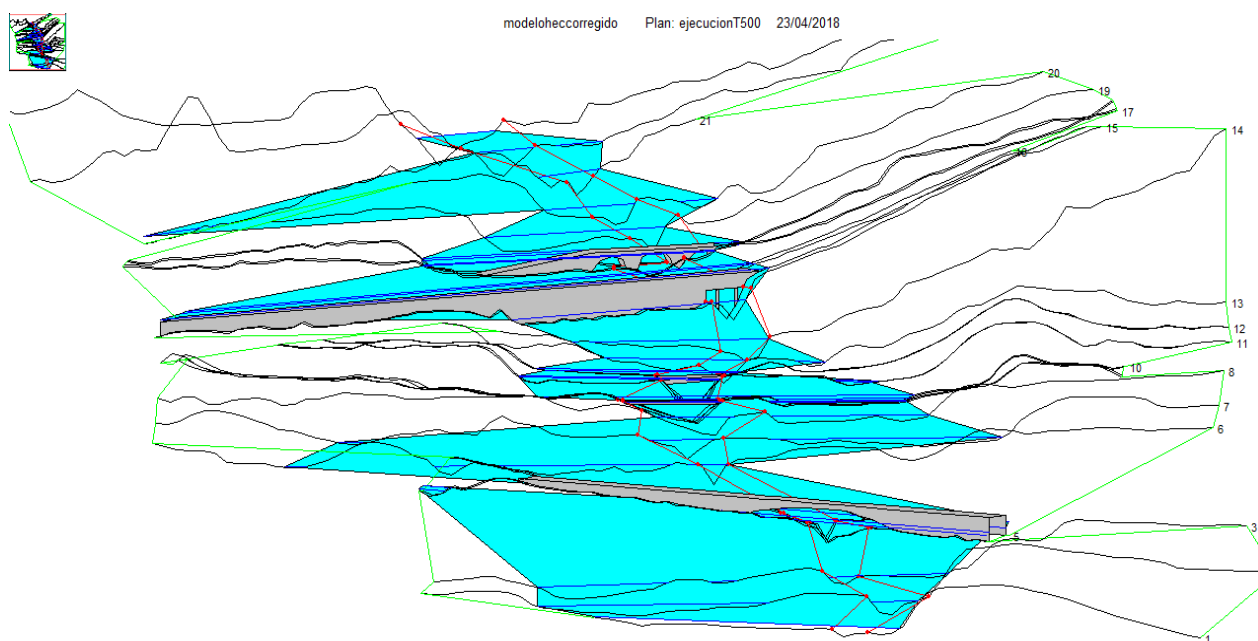


Figura 47: Representación 3D de la inundación.

$i_{23-1} = 0,018$

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: 92.1 River: riobatan Reach: tramoescorial												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
tramoescorial 23	23	PF 1	92.10	890.48	892.78		893.10	0.007663	2.48	37.15	37.26	0.79
tramoescorial 22	22	PF 1	92.10	890.30	892.38	892.38	892.78	0.008539	2.83	34.76	50.58	0.85
tramoescorial 21	21	PF 1	92.10	889.35	891.16	891.16	891.44	0.007274	2.73	43.16	76.72	0.80
tramoescorial 20	20	PF 1	92.10	888.50	890.03	890.03	890.35	0.009271	2.79	38.06	57.25	0.88
tramoescorial 19	19	PF 1	92.10	887.53	889.41		889.49	0.001820	1.24	71.18	77.59	0.38
tramoescorial 18	18	PF 1	92.10	887.75	889.41	888.66	889.44	0.000388	0.57	133.93	135.73	0.18
tramoescorial 17.5		Bridge										
tramoescorial 17	17	PF 1	92.10	887.56	889.34		889.37	0.000485	0.73	127.05	124.69	0.21
tramoescorial 16	16	PF 1	92.10	887.82	889.35	888.36	889.35	0.000066	0.27	310.54	265.84	0.08
tramoescorial 15.5		Bridge										
tramoescorial 15	15	PF 1	92.10	885.45	886.92	886.92	887.13	0.012438	2.37	45.39	109.63	0.94
tramoescorial 14	14	PF 1	92.10	883.98	885.63	885.63	885.91	0.007498	2.67	43.28	74.41	0.80
tramoescorial 13	13	PF 1	92.10	883.25	885.11	885.07	885.36	0.007389	2.51	43.49	70.51	0.78
tramoescorial 12	12	PF 1	92.10	882.54	885.06	884.26	885.22	0.001927	1.85	58.95	83.69	0.44
tramoescorial 11.5		Bridge										
tramoescorial 11	11	PF 1	92.10	882.91	884.76	884.76	885.00	0.006337	2.44	48.53	95.56	0.73
tramoescorial 10	10	PF 1	92.10	882.52	884.51	884.25	884.60	0.002396	1.49	73.34	126.44	0.45
tramoescorial 9.5		Bridge										
tramoescorial 9	9	PF 1	92.10	882.56	884.18	884.18	884.43	0.007369	2.31	46.34	92.31	0.77
tramoescorial 8	8	PF 1	92.10	882.36	883.79	883.79	884.01	0.009570	2.32	46.29	94.35	0.85
tramoescorial 7	7	PF 1	92.10	881.69	883.20	883.20	883.39	0.011022	2.18	49.50	130.73	0.88
tramoescorial 6	6	PF 1	92.10	880.87	882.45	882.45	882.66	0.010421	2.34	45.10	104.13	0.86
tramoescorial 5	5	PF 1	92.10	879.51	882.08	881.53	882.11	0.000513	0.86	137.78	187.91	0.22
tramoescorial 4.5		Bridge										
tramoescorial 4	4	PF 1	92.10	879.61	881.24	881.24	881.46	0.009387	2.34	47.33	107.79	0.84
tramoescorial 3	3	PF 1	92.10	877.97	878.51	878.51	878.74	0.008153	1.29	46.05	108.73	0.69
tramoescorial 2	2	PF 1	92.10	876.71	877.76	877.70	877.92	0.008252	1.72	52.10	111.64	0.74
tramoescorial 1	1	PF 1	92.10	876.37	877.19	877.19	877.38	0.011840	2.14	48.80	126.95	0.90

Figura 48: Tabla de resultados, ejecución para la pendiente entre las secciones 23-1.

$i_{23-3} = 0,016$

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: pendientessegunda River: riobatan Reach: tram												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
tramoescorial 23	23	PF 1	92.10	890.48	892.78		893.10	0.007663	2.48	37.15	37.26	0.79
tramoescorial 22	22	PF 1	92.10	890.30	892.38	892.38	892.78	0.008539	2.83	34.76	50.58	0.85
tramoescorial 21	21	PF 1	92.10	889.35	891.16	891.16	891.44	0.007274	2.73	43.16	76.72	0.80
tramoescorial 20	20	PF 1	92.10	888.50	890.03	890.03	890.35	0.009271	2.79	38.06	57.25	0.88
tramoescorial 19	19	PF 1	92.10	887.53	889.41		889.49	0.001820	1.24	71.18	77.59	0.38
tramoescorial 18	18	PF 1	92.10	887.75	889.41	888.66	889.44	0.000388	0.57	133.93	135.73	0.18
tramoescorial 17.5		Bridge										
tramoescorial 17	17	PF 1	92.10	887.56	889.34		889.37	0.000485	0.73	127.05	124.69	0.21
tramoescorial 16	16	PF 1	92.10	887.82	889.35	888.36	889.35	0.000066	0.27	310.54	265.84	0.08
tramoescorial 15.5		Bridge										
tramoescorial 15	15	PF 1	92.10	885.45	886.92	886.92	887.13	0.012438	2.37	45.39	109.63	0.94
tramoescorial 14	14	PF 1	92.10	883.98	885.63	885.63	885.91	0.007498	2.67	43.28	74.41	0.80
tramoescorial 13	13	PF 1	92.10	883.25	885.11	885.07	885.36	0.007389	2.51	43.49	70.51	0.78
tramoescorial 12	12	PF 1	92.10	882.54	885.06	884.26	885.22	0.001927	1.85	58.95	83.69	0.44
tramoescorial 11.5		Bridge										
tramoescorial 11	11	PF 1	92.10	882.91	884.76	884.76	885.00	0.006337	2.44	48.53	95.56	0.73
tramoescorial 10	10	PF 1	92.10	882.52	884.51	884.25	884.60	0.002396	1.49	73.34	126.44	0.45
tramoescorial 9.5		Bridge										
tramoescorial 9	9	PF 1	92.10	882.56	884.18	884.18	884.43	0.007369	2.31	46.34	92.31	0.77
tramoescorial 8	8	PF 1	92.10	882.36	883.79	883.79	884.01	0.009570	2.32	46.29	94.35	0.85
tramoescorial 7	7	PF 1	92.10	881.69	883.20	883.20	883.39	0.011022	2.18	49.50	130.73	0.88
tramoescorial 6	6	PF 1	92.10	880.87	882.45	882.45	882.66	0.010421	2.34	45.10	104.13	0.86
tramoescorial 5	5	PF 1	92.10	879.51	882.08	881.53	882.11	0.000513	0.86	137.78	187.91	0.22
tramoescorial 4.5		Bridge										
tramoescorial 4	4	PF 1	92.10	879.61	881.24	881.24	881.46	0.009387	2.34	47.33	107.79	0.84
tramoescorial 3	3	PF 1	92.10	877.97	878.51	878.51	878.74	0.008153	1.29	46.05	108.73	0.69
tramoescorial 2	2	PF 1	92.10	876.71	877.76	877.70	877.92	0.008252	1.72	52.10	111.64	0.74
tramoescorial 1	1	PF 1	92.10	876.37	877.19	877.19	877.38	0.011840	2.14	48.80	126.95	0.90

Figura 49: Tabla de resultados, ejecución para la pendiente entre las secciones 23-3.



$i_{23-14}=0,017$

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: pendiente tercera River: riobatan Reach: tramo												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
tramoescalorial	23	PF 1	92.10	890.48	892.78		893.10	0.007663	2.48	37.15	37.26	0.79
tramoescalorial	22	PF 1	92.10	890.30	892.38	892.38	892.78	0.008539	2.83	34.76	50.58	0.85
tramoescalorial	21	PF 1	92.10	889.35	891.16	891.16	891.44	0.007274	2.73	43.16	76.72	0.80
tramoescalorial	20	PF 1	92.10	888.50	890.03	890.03	890.35	0.009271	2.79	38.06	57.25	0.88
tramoescalorial	19	PF 1	92.10	887.53	889.41		889.49	0.001820	1.24	71.18	77.59	0.38
tramoescalorial	18	PF 1	92.10	887.75	889.41	888.66	889.44	0.000388	0.57	133.93	135.73	0.18
tramoescalorial	17.5	Bridge										
tramoescalorial	17	PF 1	92.10	887.56	889.34		889.37	0.000485	0.73	127.05	124.69	0.21
tramoescalorial	16	PF 1	92.10	887.82	889.35	888.36	889.35	0.000066	0.27	310.54	265.84	0.08
tramoescalorial	15.5	Bridge										
tramoescalorial	15	PF 1	92.10	885.45	886.92	886.92	887.13	0.012438	2.37	45.39	109.63	0.94
tramoescalorial	14	PF 1	92.10	883.98	885.63	885.63	885.91	0.007498	2.67	43.28	74.41	0.80
tramoescalorial	13	PF 1	92.10	883.25	885.11	885.07	885.36	0.007389	2.51	43.49	70.51	0.78
tramoescalorial	12	PF 1	92.10	882.54	885.06	884.26	885.22	0.001927	1.85	58.95	83.69	0.44
tramoescalorial	11.5	Bridge										
tramoescalorial	11	PF 1	92.10	882.91	884.76	884.76	885.00	0.006337	2.44	48.53	95.56	0.73
tramoescalorial	10	PF 1	92.10	882.52	884.51	884.25	884.60	0.002396	1.49	73.34	126.44	0.45
tramoescalorial	9.5	Bridge										
tramoescalorial	9	PF 1	92.10	882.56	884.18	884.18	884.43	0.007369	2.31	46.34	92.31	0.77
tramoescalorial	8	PF 1	92.10	882.36	883.79	883.79	884.01	0.009570	2.32	46.29	94.35	0.85
tramoescalorial	7	PF 1	92.10	881.69	883.20	883.20	883.39	0.011022	2.18	49.50	130.73	0.88
tramoescalorial	6	PF 1	92.10	880.87	882.45	882.45	882.66	0.010421	2.34	45.10	104.13	0.86
tramoescalorial	5	PF 1	92.10	879.51	882.08	881.53	882.11	0.000513	0.86	137.78	187.91	0.22
tramoescalorial	4.5	Bridge										
tramoescalorial	4	PF 1	92.10	879.61	881.24	881.24	881.46	0.009387	2.34	47.33	107.79	0.84
tramoescalorial	3	PF 1	92.10	877.97	878.51	878.51	878.74	0.008153	1.29	46.05	108.73	0.69
tramoescalorial	2	PF 1	92.10	876.71	877.76	877.70	877.92	0.008252	1.72	52.10	111.64	0.74
tramoescalorial	1	PF 1	92.10	876.37	877.19	877.19	877.38	0.011840	2.14	48.80	126.95	0.90

Figura 50: Tabla de resultados, ejecución para la pendiente entre las secciones 23-14.

Dadas las bajas pendientes tan parejas se muestran resultados convergentes a lo largo del tramo estudiado, obteniéndose como era de esperar un régimen subcrítico o lento  $Fr < 1$ .



Figura 51: Inundación para T=500 años en régimen permanente.



Una vez estudiada la inundación para un periodo de retorno  $T=500$  años en régimen permanente, procedemos a realizar una comparativa de nuestros resultados con los resultados de un organismo público como es el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (Figuras 52,53), consultando en el visor Nacional de cartografía de zonas inundables (visor SNCZI):

Comparativa de resultados:



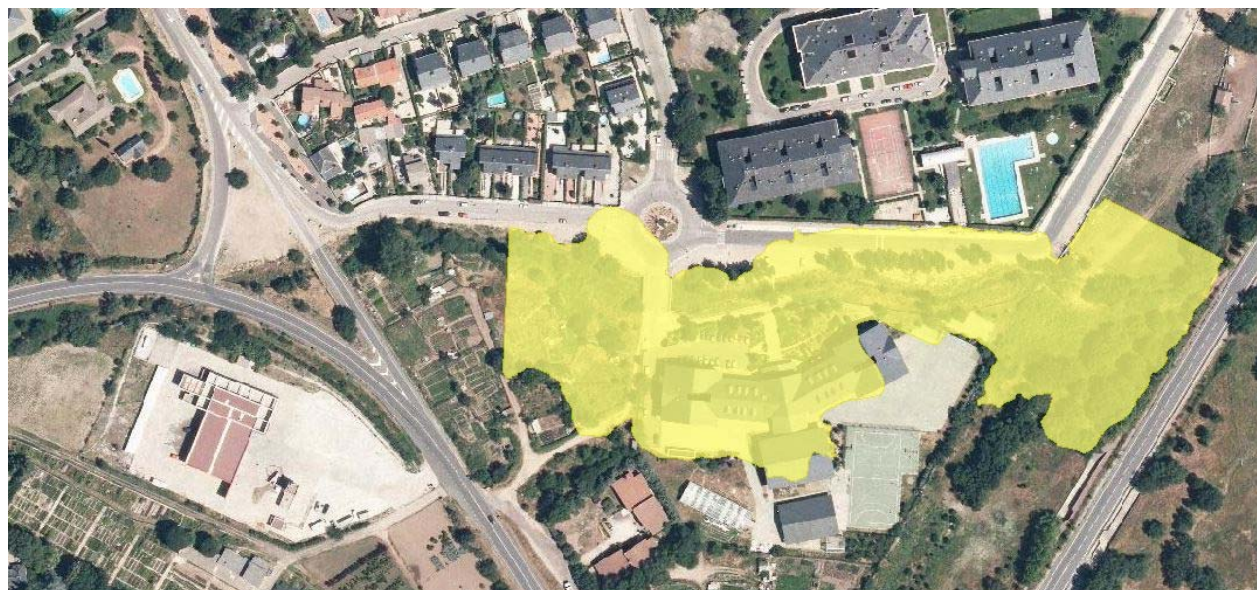
 GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE		
Zona Inundable con Probabilidad Baja o Excepcional (T=500 años)		
Id. Zona	ES030_T500_X-04.2-12	
Nombre zona	ES030-X-04.2-12 RÍO AULENCIA	
Tipo zona	Z.I. PROBABILIDAD BAJA (500 AÑOS)	
Cauce	RÍO AULENCIA	
Longitud (Km)	0,33	
Zona inundable directiva de inundaciones	NO	
Hipótesis	Q500 régimen alterado	
Método hidrológico	CAUDALES MÁXIMOS CEDEX	
Precisión cartográfica	MDT 1X1 PROCEDENTE DE LIDAR IGN PNOA	
Método hidráulico	IBER	
Estudio	SNCZI DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO. ZONAS INUNDABLES EN LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS DE MADRID Y CASTILLA Y LEÓN	
Tipo estudio	ESTUDIO DE DESARROLLO DEL SNCZI	
Escala representación	PLANOS DIGITALES SIN ESCALA	
Documento	ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA DE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y MAPAS DE PELIGROSIDAD Y RIESGO DE INUNDACIÓN, EN LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS DE MADRID Y CASTILLA Y LEÓN EN EL ÁMBITO TERRITORIAL DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO	
Fecha documento	01/10/2015	
Organismo	MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE	
Clave expediente	13000008/NE	
Demarcación	TAJO	
Caudal (m³/s)	92,1	

Figura 52: Ficha técnica para un periodo de retorno  $T=500$  años.



**Figura 53: Inundación para T=500 años en régimen permanente (Visor SNCZI).**



**Figura 54: Inundación para T=500 años en régimen permanente (Obtenida con HEC-RAS).**

Como se puede observar los resultados muestran una inundación prácticamente idéntica, al menos en el tramo común estudiado, lo cual nos da cierta seguridad en que el estudio hidrológico e hidráulico realizado fue el correcto.



Al margen de la comparativa para un  $T=500$  (Figura 54), mostraremos otras inundaciones ofrecidas por el visor SNCZI para periodos de retorno menores (Figuras 55,56,57), lo cual nos hace pensar en la magnitud del problema ante la alta frecuencia del suceso. Aun que como es de esperar la solución que se proponga será para un  $T=500$  manteniéndonos del lado de la seguridad.



Figura 55: Inundación para  $T=100$  años en régimen permanente (Visor SNCZI).



Figura 56: Inundación para  $T=50$  años en régimen permanente (Visor SNCZI).



Figura 57: Inundación para  $T=10$  años en régimen permanente (Visor SNCZI).

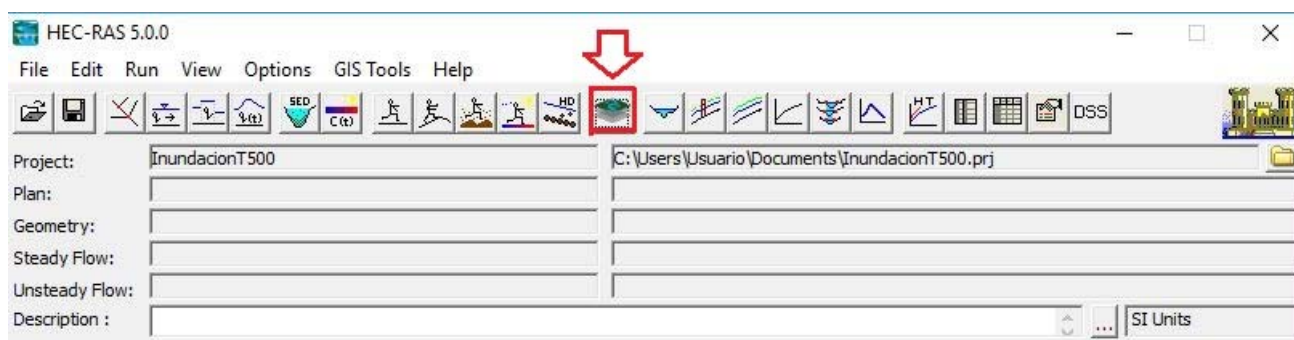
### 5.3.1.2 RÉGIMEN VARIABLE/INUNDACIÓN DINÁMICA

El Anterior modelo de Hec-Ras se realizó en régimen permanente (caudal punta constante en el tiempo), en este apartado realizaremos los modelos en régimen variable, el objetivo de este estudio es evaluar la inundación conforme aumenta o disminuye el caudal con el tiempo, ya que esto es lo que ocurre en la vida real.

Es importante destacar que, para realizar la ejecución del modelo en un régimen no permanente, el programa Hec-Ras requiere que se introduzca el MDE de la zona en la que trabajamos (Figuras 58,59,60,61,62), además de definirle la geometría (ya definida anteriormente). Con esto no sólo conseguiremos analizar el evento en un régimen no permanente, sino que además se mostrará como resultado final la inundación dinámica.

La inundación dinámica nos facilitará una visualización en planta de la inundación respecto al tiempo, con lo que se podrán apreciar de forma clara y sencilla los riesgos potenciales producidos por la avenida, lo cual es interesante desde un punto de vista divulgativo, de cara a mostrar la magnitud del problema a cualquier persona.

El procedimiento es el siguiente: Al modelo realizado le añadimos el MDE (en nuestro caso tiene una resolución de 12,5m) mediante la herramienta “Open Ras Mapper to view maps and data spatially”.



**Figura 58: Pantalla de inicio de Hec-Ras 5.0 herramienta “Open Ras Mapper to view maps and data spatially”.**



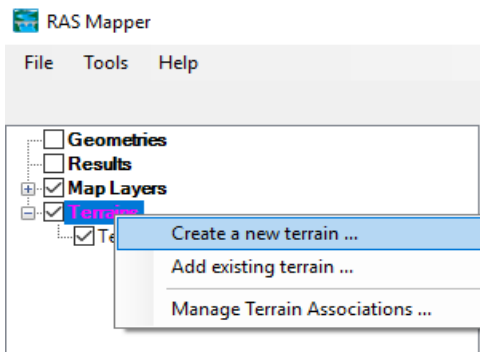


Figura 59: Crear nuevo terreno en Hec-Ras.

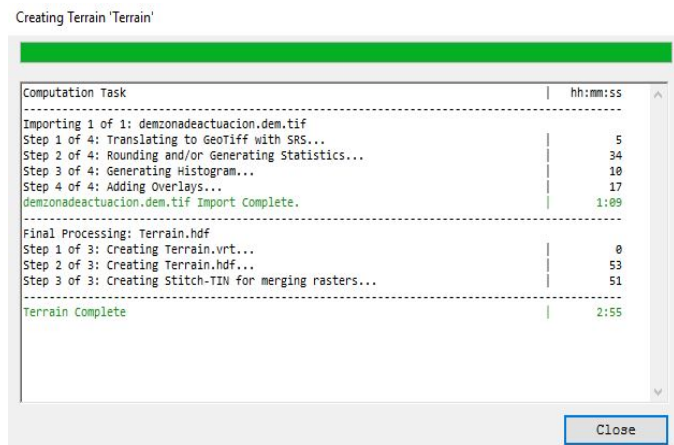


Figura 60: Creación del terreno en Hec-Ras 5.0.

Una vez introducido el MDE, creado el terreno y generada la geometría, el MDE se hace visible:

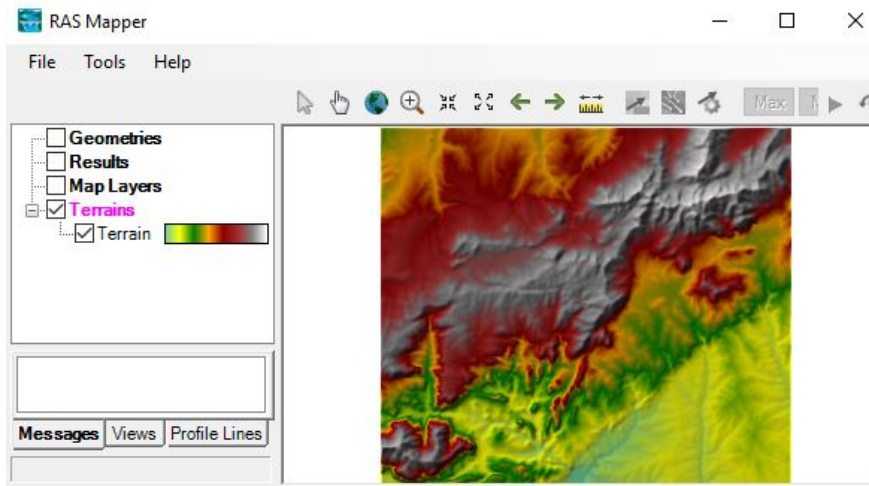


Figura 61: MDE introducido en Hec-Ras 5.0.

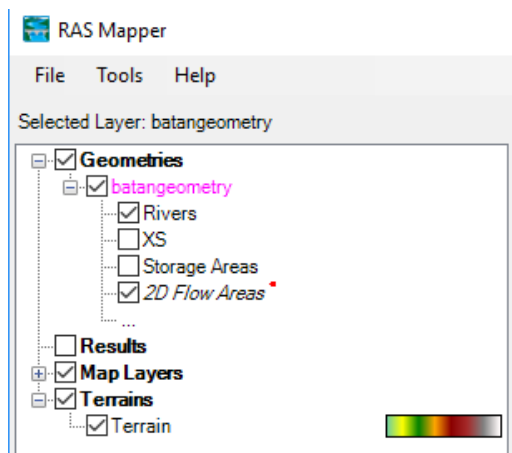
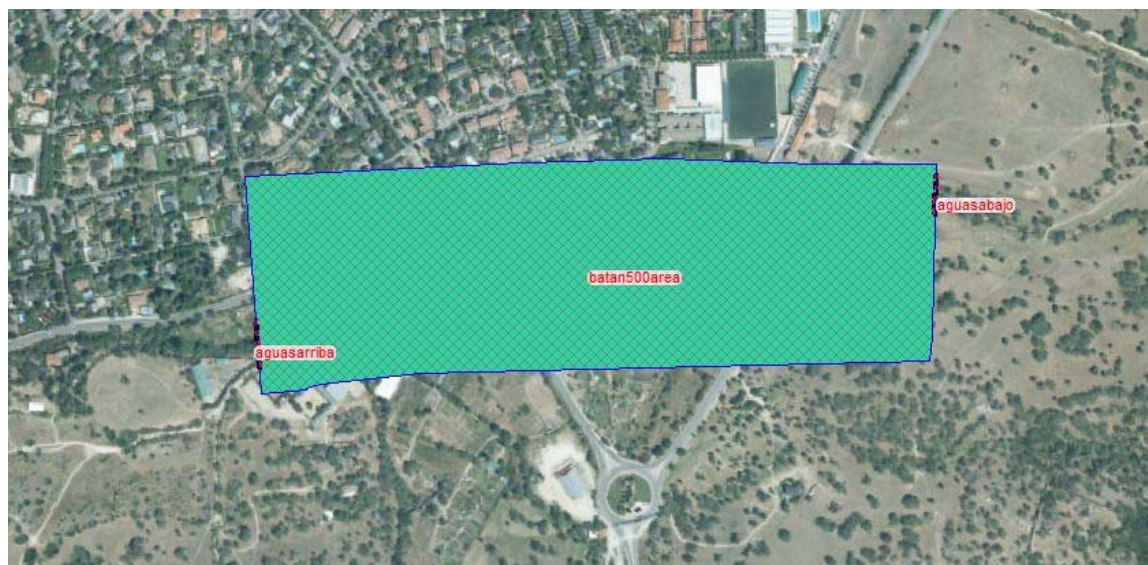


Figura 62: Activamos la geometría.

El siguiente paso para realizar el modelo es delimitar una rejilla/cuadrícula/grilla (Figura 63), para ello mediante la herramienta “Edit Geometric data” y “Ad 2d Flow Area” delimitamos un polígono que contiene nuestra zona de actuación, con el cauce del río y amplios márgenes para poder evaluar la inundación en las proximidades a este.

Hecho esto definimos las condiciones de contorno (Figura 65) (cota de la lámina de agua, aguas arriba y aguas abajo), mediante la herramienta “Add arc just outside a 2D Flow for new boundary Condition Location”



**Figura 63: Zona de actuación, sentido del río, malla y condiciones de contorno.**

A continuación, se define el tamaño de la cuadrícula (en este caso 5x5m para obtener una buena resolución, obteniendo un total de 8475 celdas), esto se consigue clicando dentro del polígono anteriormente definido y mediante “Edit 2D flow Area”→ “Generate Computation Points” establecemos el tamaño de la rejilla. También es necesario introducir el coeficiente de manning (en nuestro caso 0,035), para ello acudimos a las tablas que sugiere utilizar el manual de Hec-Ras (Figura 64):



Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
<b>A Cauces naturales</b>			
<b>A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida &lt; 30 m)</b>			
<b>A.1.1 Cursos en planicies</b>			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
- Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	0,035	0,040
- Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0,033	0,040	0,045
- Meandros con algunas piedras y pastos	0,035	0,045	0,050
- Meandros con muchas piedras	0,045	0,050	0,060
- Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
- Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0,075	0,100	0,150
<b>A.1.2 Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida</b>			
- Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
- Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0,040	0,050	0,070
<b>A.2 Cursos en planicies inundadas</b>			
<b>A.2.1 Zonas de pastos, sin arbustos</b>			
- Pasto corto	0,025	0,030	0,035
- Pasto alto	0,030	0,035	0,050
<b>A.2.2 Zonas cultivadas</b>			
- Sin cultivo	0,020	0,030	0,030
- Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0,025	0,035	0,045
- Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0,030	0,040	0,050
<b>A.2.3 Zonas arbustivas</b>			
- Escasos arbustos y pasto abundante	0,035	0,050	0,070
- Pequeños árboles y arbustos sin follaje (parada invernal)	0,035	0,050	0,060
- Pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetativa)	0,040	0,060	0,080
- Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0,045	0,070	0,110
- Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0,070	0,100	0,160
<b>A.2.4 Zonas arbóreas</b>			
- Sauces densos, temporada invernal	0,110	0,150	0,200
- Terreno claro con ramas sin brotes	0,030	0,040	0,050
- Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0,050	0,060	0,080
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas	0,080	0,100	0,120
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas	0,100	0,120	0,160
<b>A.3 Cursos importantes (ancho de la superficie libre en crecida &gt; 30 m)</b>			
En este caso, los valores del coeficiente $n$ son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor,			
- Sección regular sin rocas ni arbustos	0,025		0,060
- Sección irregular y rugosa	0,035		0,100

Figura 64: Coeficientes de Manning sugeridos por Hec-RAS.

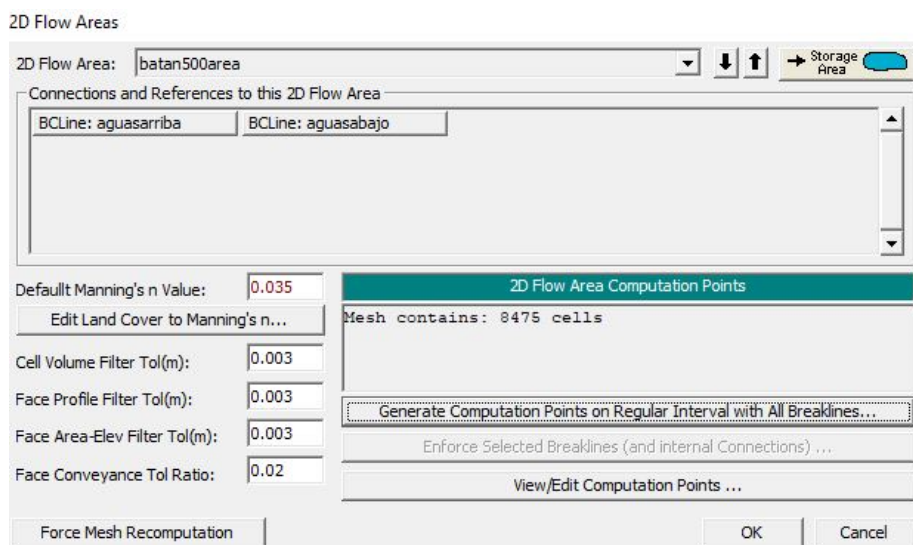


Figura 65: Pantalla de Hec-RAS con condiciones de contorno, creación de la malla y Manning.

El siguiente paso es guardar la geometría que acabamos de definir → "File Save Geometry Data as". Continuamos definiendo las condiciones de contorno: "Edit Unsteady Flow data" → Normal Depth → Condición de contorno aguas abajo → pendiente media del cauce  $i=0.017$ . Condición de contorno aguas arriba → Flow Hydrograph → Hidrograma para el periodo de retorno elegido.

El programa pide una fecha y una hora como comienzo de inundación, introducimos una fecha a criterio propio (1/02/2019).

Dado que anteriormente obtuvimos los hidrogramas para distintas intensidades, procedemos a introducirlos Hec-Ras.

Partimos de la geometría definida anteriormente en la que se introdujeron los cinco puentes que atraviesa el río, mediante la herramienta "Edit → Unsteady Flow Data" introducimos el hidrograma correspondiente, realizaremos 4 modelos (uno con cada hidrograma).

- Hidrograma Adimensional SCS para  $T=500$  para un aguacero de 60 min.
- Hidrograma Adimensional SCS para  $T=500$  para un aguacero de 30 min.
- Hidrograma Adimensional SCS para  $T=500$  para un aguacero de 20 min.
- Hidrograma Adimensional SCS para  $T=500$  para un aguacero de 10 min.

● Régimen variable para  $T=500$  para un aguacero de 60 min.

Determinamos las condiciones de contorno (Figura 66), aguas arriba del tramo estudiado introducimos el hidrograma correspondiente al periodo de retorno estudiado y para la duración del episodio estudiado (Figura 67), aguas abajo le indicamos la pendiente del canal (0,017).

Select Location in table then select Boundary Condition Type			
	River	Reach	RS
1	riobatan	tramo elescorial	23
2	riobatan	tramo elescorial	1

**Figura 66: Condiciones de contorno.**

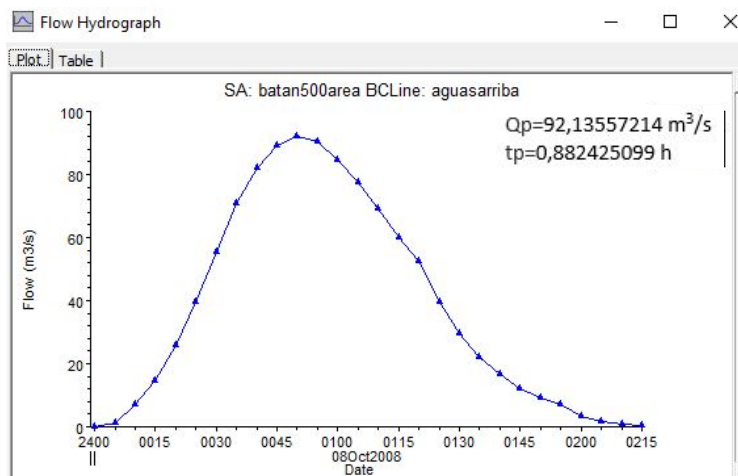


Figura 67: Hidrograma para T=500 para un aguacero de 60 min introducido en Hec-Ras.

Tras introducir los caudales mediante el correspondiente hidrograma, guardamos los datos de flujo mediante "Save Unsteady flow data as" procedemos a ejecutar el modelo (Figuras 68,69) mediante la herramienta "Run→Unsteady flow Analysis →"Compute".

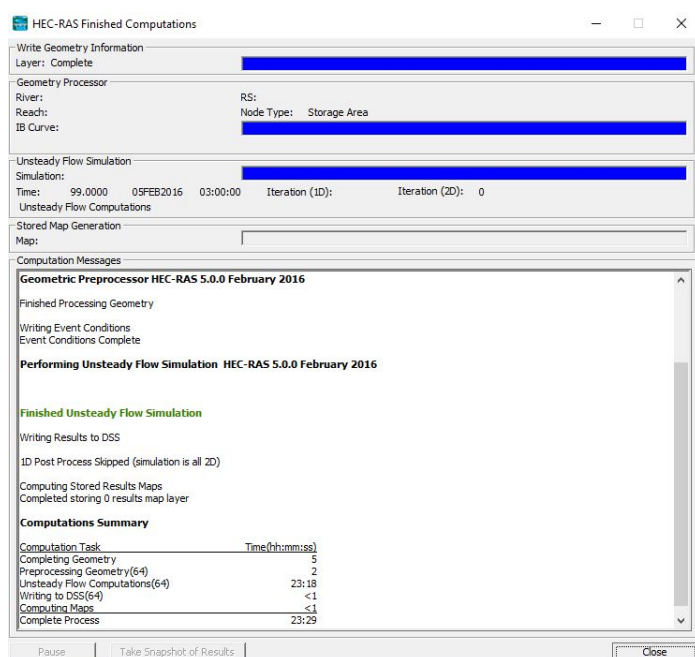


Figura 68: Fin de la ejecución modelo.



Figura 69: Inundación para T=500 años para un aguacero de 1h régimen variable.

- Régimen variable para T=500 para un aguacero de 30 min (Figuras 70,71).

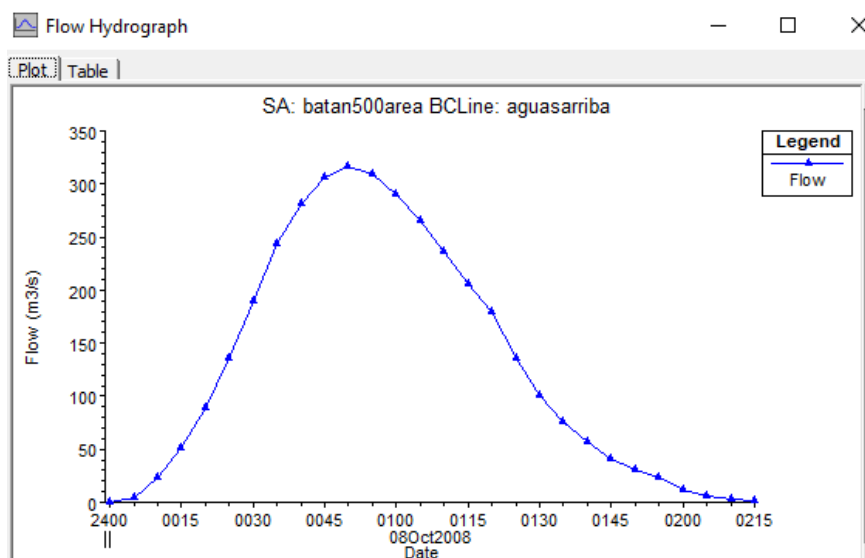


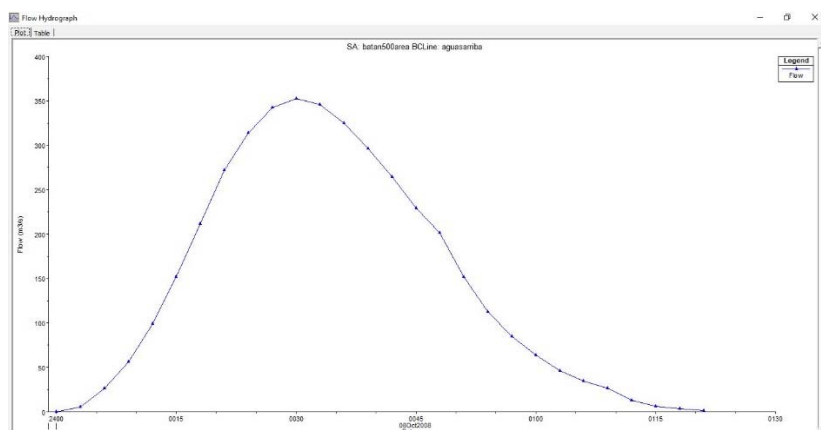
Figura 70: Hidrograma para T=500 para un aguacero de 30 min introducido en Hec-Ras.





**Figura 71: Inundación para T=500 años para un aguacero de 30 min régimen variable.**

● Régimen variable para T=500 para un aguacero de 20 min (Figuras 72,73).



**Figura 72: Hidrograma para T=500 para un aguacero de 20 min introducido en Hec-Ras.**



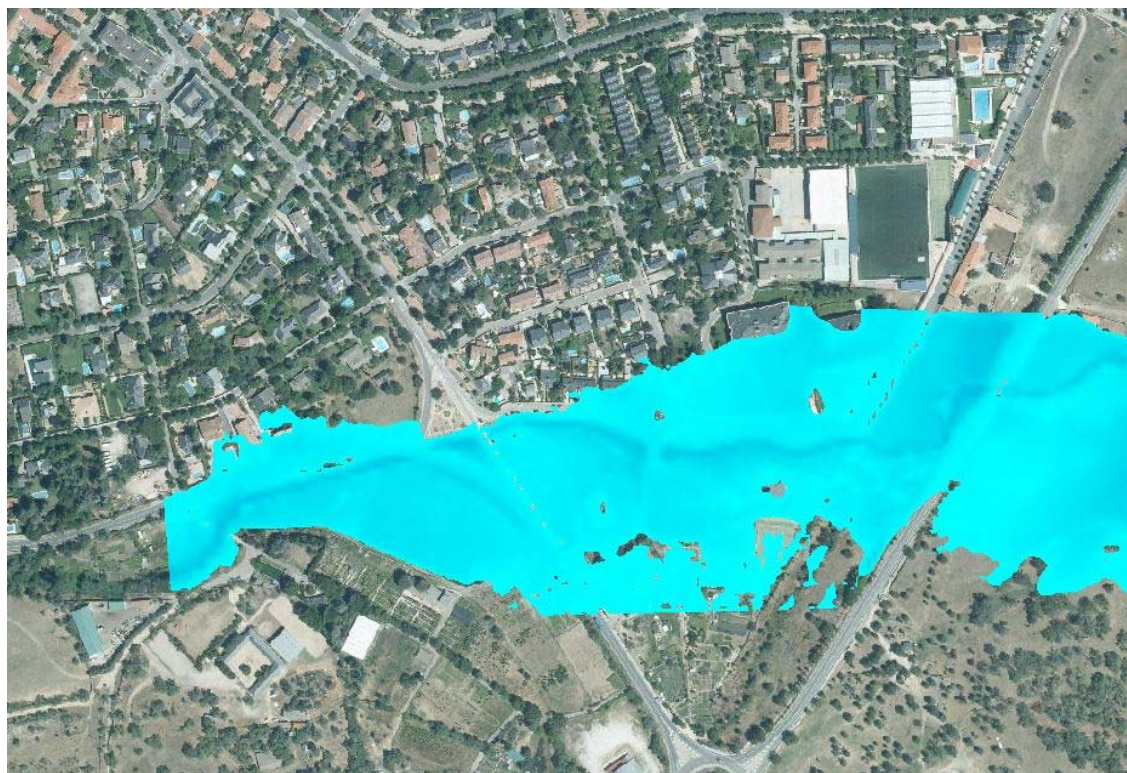


Figura 73: Inundación para T=500 años para un aguacero de 20 min régimen variable.

● Régimen variable para T=500 para un aguacero de 10 min (Figuras 74,75).

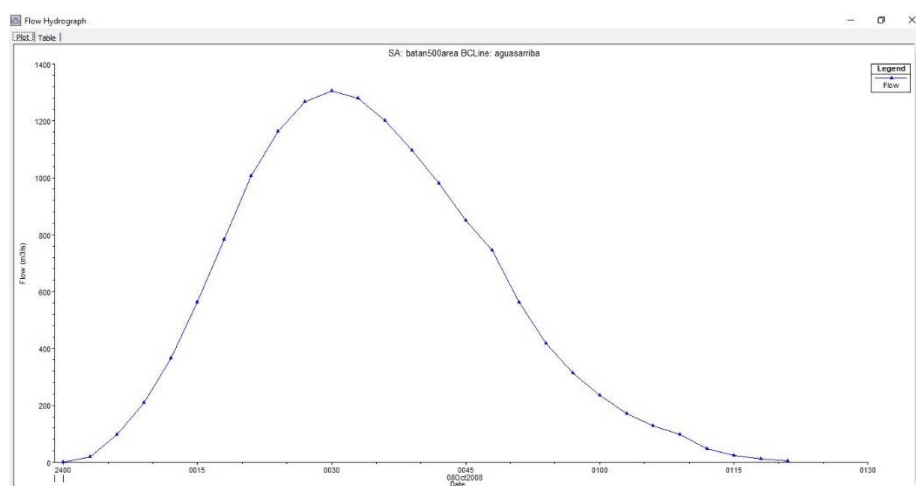


Figura 74: Hidrograma para T=500 para un aguacero de 10 min introducido en Hec-Ras.



Figura 75: Inundación para T=500 años para un aguacero de 10min régimen variable.

### 5.3.2 MODELO HEC-RAS CON SOLUCIÓN PROPUESTA EN RÉGIMEN PERMANENTE

La solución que se propone se tomará considerando un tiempo de duración de la lluvia igual al tiempo concentración de la cuenca hidrográfica, que obtenido previamente presenta un valor  $t_c=1,09$  h, es con este tiempo de concentración con el que obtuvimos el caudal punta  $Q_p= 92,13 \text{ m}^3/\text{s}$  y con el que realizamos en el apartado 5.3.1.1 el Modelo Hec-Ras en régimen permanente (calado constante y Caudal constante en el tiempo en una única sección fija).

Régimen permanente para  $T=500$  a los 60 min  $\rightarrow 92,13 \text{ m}^3/\text{s}$

Longitud del tramo estudiado= 1005,22 m

Vel Chnl (m/s)
2.48
2.83
2.73
2.79
1.24
0.57
0.73
0.27
2.37
2.67
2.51
1.85
2.44
1.49
2.31
2.32
2.18
2.34
0.86
2.35
1.29
1.72
2.14

Para calcular el volumen de agua de la inundación, obtendremos la velocidad promedio del tramo estudiado, asumiendo diferencias de velocidades a lo largo de dicho tramo, y dado que  $Q$  es constante nos dará valores razonablemente correctos:

Velocidad promedio del agua (obtenida de la tabla de resultados de HEC-RAS, Figura 76) a lo largo del tramo estudiado = 1,93m/s

$$v = \frac{e}{t} \rightarrow t = \frac{e}{v} \rightarrow t = \frac{1005,22}{1,93} = 520,84 \text{ s}$$

$$V = Q \times t \rightarrow V = 92,13 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 521 \text{ s} = 47.999,73 \text{ m}^3 \simeq 48.000 \text{ m}^3$$

La solución que se plantea, es conducir el agua que rebasaría el cauce natural mediante la construcción de un canal y almacenarla en un Tanque de tormentas, construido para tal fin, cabiendo la posibilidad de utilizar dicha agua para satisfacer demandas de regadío o agua para hidrantes.

Figura 76: Velocidad en cada Cross Section.

El modelo solución que se plantea fue realizado en régimen permanente para el caudal punta que es susceptible de presentarse en un periodo de retorno de  $T=500$  años  $\rightarrow Q_p=92,13 \text{ m}^3/\text{s}$   
Inundación máxima producida  $T=500$  en régimen permanente  $\rightarrow \text{Volumen}= 48.000 \text{ m}^3$



A continuación, se describen las características básicas del canal que se dispondrá para conducir las aguas hasta el tanque de tormentas (Figura 77).

El nombre genérico de canal, se puede dar a cualquier conducción en régimen libre. Así, los cauces de los ríos son canales naturales, pero la irregularidad y variación de sus características (pendiente, sección, trazado, rugosidad) hace que las fórmulas hidráulicas sólo se puedan aplicar en primera aproximación.

Por el contrario, el canal que se plantea en esta solución, es un canal artificial, es decir: modelado y controlado por el hombre, en el que las características son constantes, los caudales decididos dentro de los límites de su capacidad y su contorno estable.

El canal contará con una longitud de 18 metros hasta llegar al tanque de tormentas.



Figura 77: Plano de situación del canal y el Tanque de tormentas.

En cuanto al diseño se refiere, es preciso conocer el caudal que debe llevar el canal, este se dimensionará para la situación más desfavorable, es decir, cuando se presenta la máxima inundación. El caudal máximo del canal será: el caudal punta para  $T=500$  menos el caudal máximo que puede llevar el río sin desbordar para ese mismo periodo de retorno (Figura 78).

$$Q_{canal} = Q_{punta} - Q_{dominante}$$

$$Q_{punta} = Q_{canal} + Q_{dominante}$$

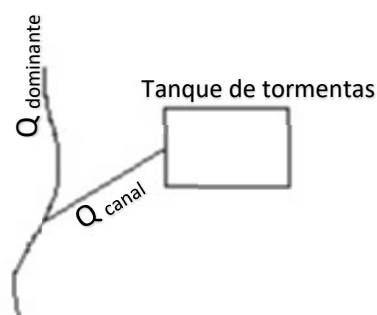


Figura 78: Esquema básico del proyecto.

Para conocer el caudal máximo que puede llevar el río sin desbordar, se realizarán sucesivas ejecuciones con Hec-Ras sobre el modelo realizado anteriormente, aumentado el caudal hasta encontrar este caudal denominado caudal dominante o formativo.

Se irán aumentando los caudales medios que circulan por el cauce en una situación interanual, para conocer estos, acudimos a base de datos “HERCULES” del CEDEX, donde se encuentran datos registrados de una estación de aforos a escasos Kilómetros de nuestra zona de actuación. Los registros de caudal del CEDEX datan de 1967-1971 pero ya que no se cuenta con más estaciones de aforos se utilizarán estos.

Caudal medio mensual entre 1967-1971  $\rightarrow Q_m=0,4004902 \text{ m}^3/\text{s}$

Por tanto, para dimensionar el canal contamos con la siguiente información: Caudal, calado, pendiente y número de Manning (directamente relacionado con la rugosidad, tendremos un valor u otro en función del material escogido).

Sección transversal del canal según su uso:

- Sección trapezoidal: Se usa en canales de tierra, debido a que proveen las pendientes necesarias para la estabilidad, y en canales revestidos. Aconsejada en terrenos inestables.
- Sección rectangular: Debido a que el rectángulo tiene los lados verticales, por lo general se utiliza en canales construidos con materiales estables, para canales excavados en roca y canales revestidos. Aconsejada en terrenos estables.
- Sección triangular: Se usa para cunetas revestidas en carreteras, también en pequeños canales de tierra, fundamentalmente por la facilidad del trazado. En general poco utilizadas.
- Sección circular: El círculo es la sección más común para alcantarillados.
- Sección parabólica: Se emplean en algunas ocasiones en canales revestidos, y es la forma que toman aproximadamente muchos canales naturales.

Una vez descritos los distintos tipos de secciones, la sección que se empleará para el proyecto será la rectangular (Figura 79), por ser construido con materiales estables y en un terreno estable.

● Datos de partida:

$$Q = 92,13 - 18 = 74,13 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_m = b + 2y \quad J = 0,017 \quad S_m = b y$$

$$R_h = \frac{S}{P_e} = \frac{b y}{b + 2y} \quad n = 0,014$$

● Fórmula de Manning:

$$J = \frac{n^2 * Q^2}{S^2 * R_h^4 / 3}$$

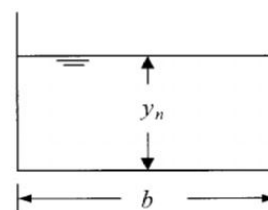


Figura 79: Canal sección tipo.



$S$ = Área mojada

$P_e$ = Perímetro mojado

$R_h$ = Radio hidráulico

-Como calado se utilizará uno que no implique una base de canal excesivamente grande para llevar tal caudal  $\rightarrow y=2,5$  m

-Como número de manning se toma el asociado al hormigón  $\rightarrow n=0,014$ , pues el canal se realizará con dicho material.

-Como pendiente, se tomará la misma que lleva el cauce natural  $\rightarrow i=0,017$

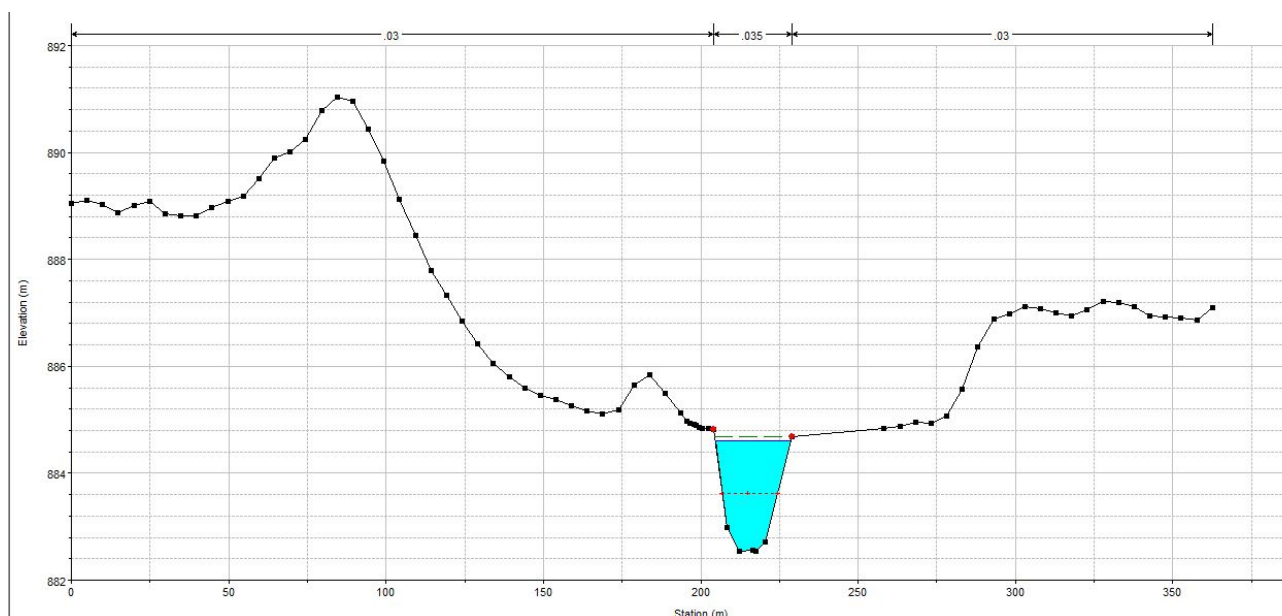
-Por último, realizamos un pequeño cálculo para conocer el caudal con que se diseña el canal utilizando, la ecuación mostrada anteriormente:  $\rightarrow Q_{canal} = Q_{punta} - Q_{dominante} = 92,13 - 18 = 74,13 \text{ m}^3/\text{s}$

Introduciendo los datos anteriores en la fórmula de Manning obtenemos las dimensiones del canal:

$$J = \frac{n^2 * Q^2}{S^2 * R_h^3} \rightarrow 0,017 = \frac{0,014^2 * 74,13^2}{(b * 2,5)^2 * (\frac{b * 2,5}{b + 2 * 2,5})^3} \rightarrow b = 3,22 \text{ m} \simeq 3,5 \text{ m}$$

Del cálculo anterior obtenemos las medidas de la sección transversal del canal, con lo que la sección hidráulica transversal del canal será de  $2,5 \times 3,5$  m.

En el Anejo IV "PLANOS" se pueden encontrar los planos de la sección transversal y longitudinal del canal.



**Figura 80: Caudal formativo o dominante  $Q= 18 \text{ m}^3/\text{s}$ .**

Tras los cálculos hidráulicos realizados en este apartado, podemos comenzar a realizar el nuevo modelo Hec-Ras, el cual tendrá en cuenta la derivación de caudal producida como consecuencia de la implantación del canal. Para ello, basta con ir a la pestaña de geometría de Hec-Ras y definir el nuevo canal, indicando la

dirección en planta de este (notesé que se hizo una interpolación sobre el canal cada 5 metros, para un mejor conocimiento del comportamiento hidráulico). El canal comienza en la cross section 21 pues la parcela en la que se ubicará el tanque de tormentas se sitúa inmediatamente aguas abajo de esta.

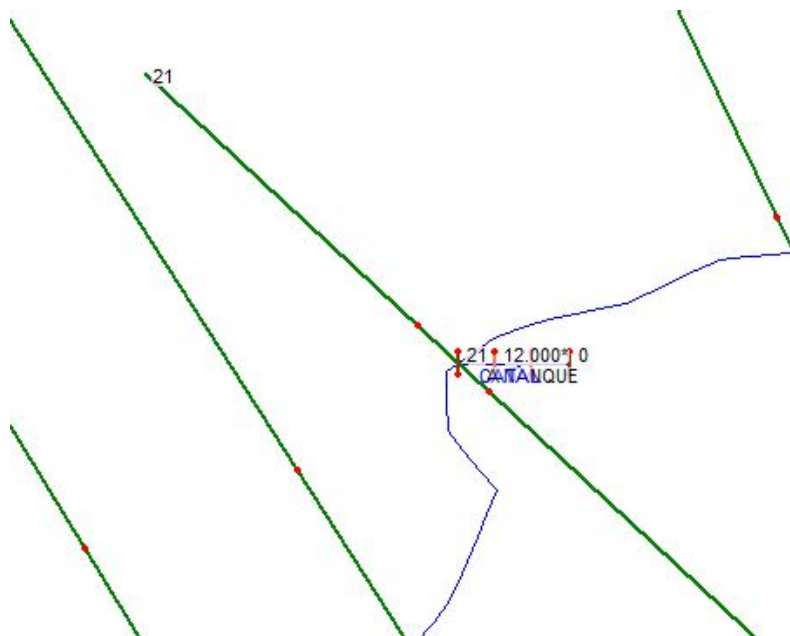


Figura 81: Canal en planta con interpolación cada 5m.

El diseño de las Cross Section del canal será una fiel representación de los valores obtenidos mediante los cálculos hidráulicos realizados en este apartado (Figuras 81,82,83).

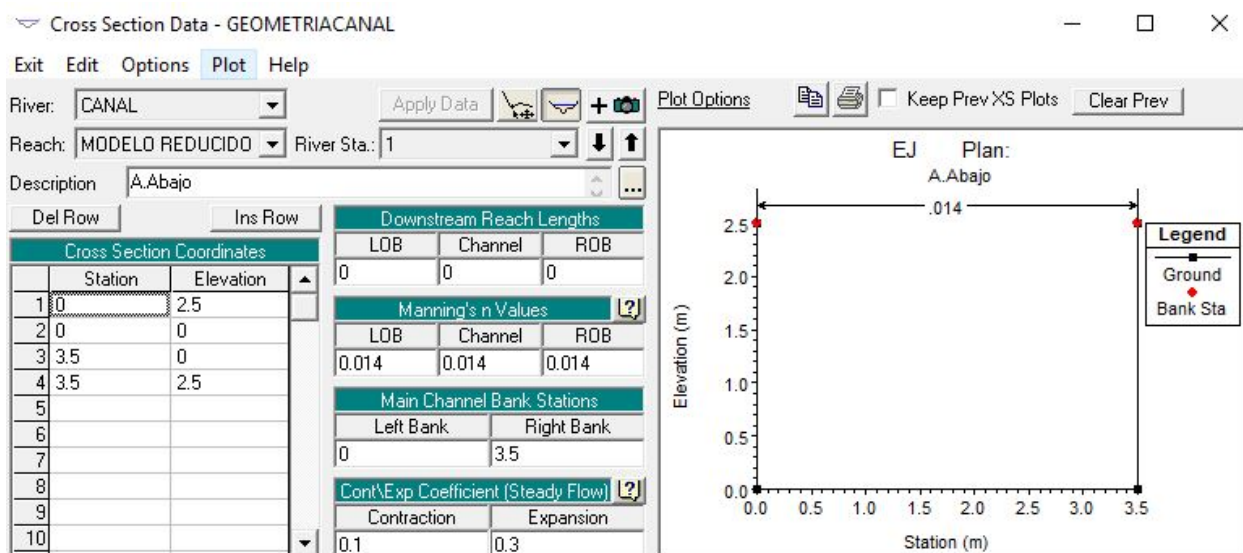
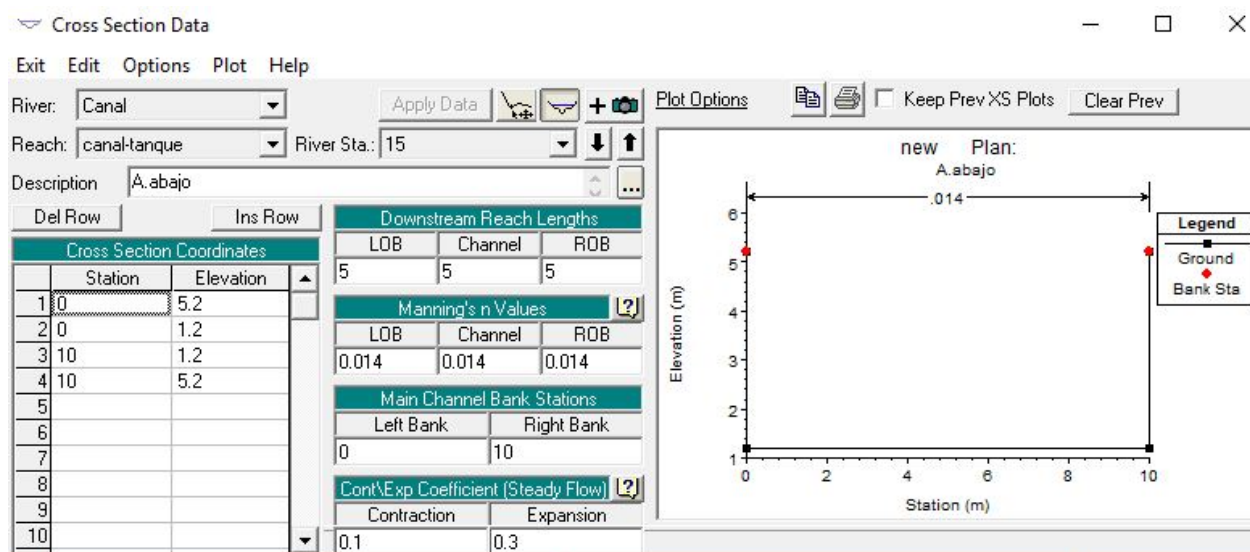


Figura 82: Cross Section aguas abajo del canal.



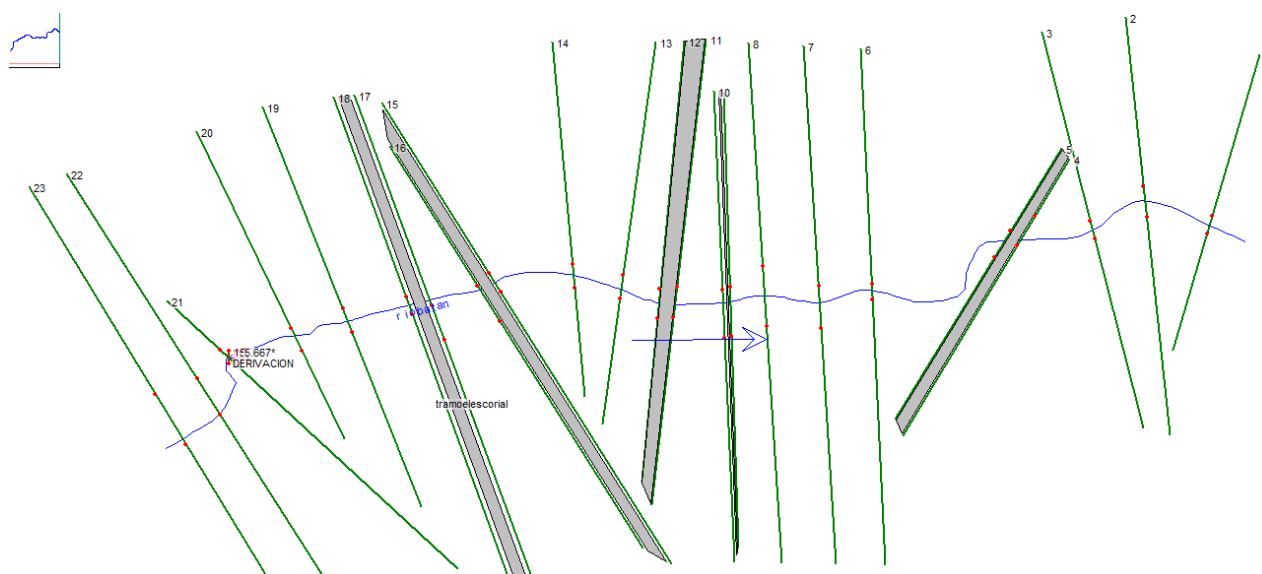
**Figura 83: Cross Section aguas arriba del canal.**

Dado que las interpolaciones se realizaron cada 6 metros y el canal tiene una longitud de 18 metros, tendremos cuatro cross sections a analizar.

En cuanto a los datos de flujo (Figura 84), cabe destacar que en esta ocasión no tendremos un único caudal circulando, sino que aguas arriba tendremos el caudal punta del hidrograma  $92,13 \text{ m}^3/\text{s}$ , este caudal se presenta hasta la Cross Section 21, en la cual se encuentra el canal que conduce una gran parte de ese caudal al tanque  $74,13 \text{ m}^3/\text{s}$ , y a partir de la Cross Section 21 el cauce natural del Arroyo del Batán llevará su caudal dominante o formativo  $18 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 80).

Flow Change Location				
	River	Reach	RS	T500
1	riobatan	tramoiescorial	23	92.13
2	riobatan	tramoiescorial	22	92.13
3	riobatan	tramoiescorial	21	18
4	riobatan	tramoiescorial	20	18
5	riobatan	tramoiescorial	19	18
6	riobatan	tramoiescorial	18	18
7	riobatan	tramoiescorial	17	18
8	riobatan	tramoiescorial	16	18
9	riobatan	tramoiescorial	15	18
10	riobatan	tramoiescorial	14	18
11	riobatan	tramoiescorial	13	18
12	riobatan	tramoiescorial	12	18
13	riobatan	tramoiescorial	11	18
14	riobatan	tramoiescorial	10	18
15	riobatan	tramoiescorial	9	18
16	riobatan	tramoiescorial	8	18
17	riobatan	tramoiescorial	7	18
18	riobatan	tramoiescorial	6	18
19	riobatan	tramoiescorial	5	18
20	riobatan	tramoiescorial	4	18
21	riobatan	tramoiescorial	3	18
22	riobatan	tramoiescorial	2	18
23	riobatan	tramoiescorial	1	18
24	CANAL	A TANQUE	21	74.13

**Figura 84: Datos de flujo en el modelo solución.**

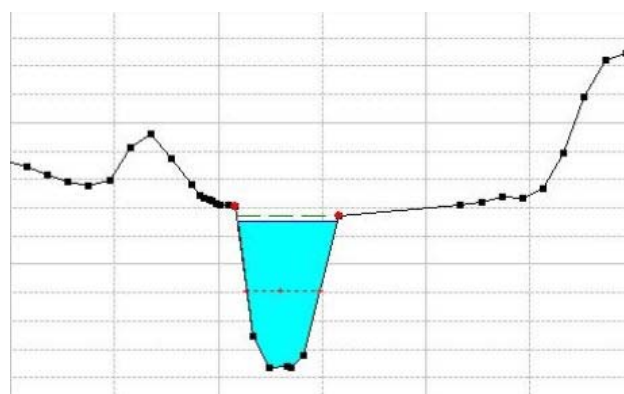


**Figura 85: Geometría en planta del modelo Solución.**

A continuación, se muestran algunas imágenes una vez que se produce la laminación de la avenida por el tanque de tormentas, las imágenes corresponden al caudal dominante o formativo que se presenta en algunas de las secciones del tramo del Arroyo del Batán estudiado (Figuras 86,87).



**Figura 86: Caudal dominante bajo la carretera M-505.**



**Figura 87: Caudal dominante en la sección 12.**

También mostraremos la sección y el perfil longitudinal del canal que conduce parte del caudal punta al tanque de tormentas para la laminación de la avenida (Figuras 88,89).



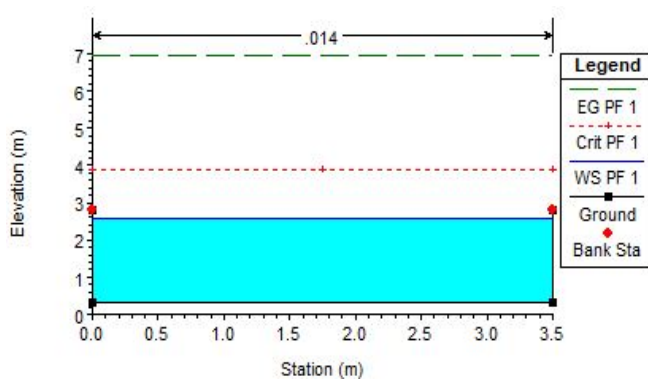


Figura 88: Cross Section del canal.

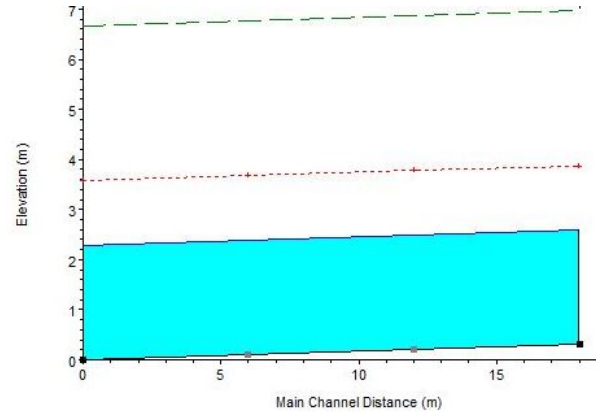


Figura 89: Perfil longitudinal del canal.

Una vez realizado el modelo solución con Hec-Ras, comprobamos la efectividad del proyecto al laminar la avenida producida por el hidrograma de  $T=500$  años, tal y como muestran las imágenes anteriores, extraídas de Hec-Ras, el canal que desvía parte del caudal del cauce al tanque de tormentas funciona a sección casi llena para  $Q=74,13 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras que por el cauce natural circula el caudal dominante de  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ , con lo que también ira a sección llena, estos resultado que muestra el modelo Hec-Ras eran los que se esperaban obtener, ya que mediante las ecuaciones de la hidráulica diseñamos las infraestructuras previamente para tales caudales, con lo que nos sirve para demostrar la veracidad del proyecto.

Por último, mostraremos la tabla de resultados con las secciones tomadas (Figura 90).

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
riobatan	tramoeltescorial	23	T500	92.13	890.48	892.78		893.10	0.007662	2.48	37.16	37.27	0.79
riobatan	tramoeltescorial	22	T500	92.13	890.30	892.38	892.38	892.78	0.008531	2.83	34.79	50.61	0.85
riobatan	tramoeltescorial	21	T500	18.00	889.35	890.47	890.47	890.71	0.013131	2.19	8.49	18.86	0.94
riobatan	tramoeltescorial	20	T500	18.00	888.50	889.42	889.42	889.61	0.011547	1.95	10.02	29.48	0.87
riobatan	tramoeltescorial	19	T500	18.00	887.53	888.94		888.95	0.000603	0.52	35.68	72.34	0.21
riobatan	tramoeltescorial	18	T500	18.00	887.75	888.93	888.38	888.94	0.000088	0.20	76.50	114.08	0.08
riobatan	tramoeltescorial	17.5	Bridge										
riobatan	tramoeltescorial	17	T500	18.00	887.56	888.92		888.93	0.000082	0.23	77.43	111.89	0.08
riobatan	tramoeltescorial	16	T500	18.00	887.82	888.93	888.14	888.93	0.000011	0.08	199.49	258.95	0.03
riobatan	tramoeltescorial	15.5	Bridge										
riobatan	tramoeltescorial	15	T500	18.00	885.45	886.64	886.64	886.72	0.006518	1.55	16.92	83.79	0.66
riobatan	tramoeltescorial	14	T500	18.00	883.98	884.89	884.88	885.11	0.013228	2.09	8.82	20.37	0.93
riobatan	tramoeltescorial	13	T500	18.00	883.25	884.41	884.41	884.61	0.011117	2.06	9.54	25.91	0.87
riobatan	tramoeltescorial	12	T500	18.00	882.54	884.05	883.24	884.08	0.000734	0.81	22.24	20.37	0.25
riobatan	tramoeltescorial	11.5	Bridge										
riobatan	tramoeltescorial	11	T500	18.00	882.91	883.79	883.74	884.03	0.011676	2.17	8.29	13.86	0.90
riobatan	tramoeltescorial	10	T500	18.00	882.52	883.54	883.38	883.66	0.006653	1.51	11.89	22.56	0.67
riobatan	tramoeltescorial	9.5	Bridge										
riobatan	tramoeltescorial	9	T500	18.00	882.56	883.50		883.60	0.005297	1.36	13.22	24.84	0.60
riobatan	tramoeltescorial	8	T500	18.00	882.36	883.24		883.40	0.008996	1.75	10.34	22.54	0.77
riobatan	tramoeltescorial	7	T500	18.00	881.69	882.85	882.85	882.97	0.009380	1.66	13.92	72.99	0.77
riobatan	tramoeltescorial	6	T500	18.00	880.87	882.09	882.09	882.18	0.007455	1.72	15.50	68.97	0.70
riobatan	tramoeltescorial	5	T500	18.00	879.51	880.87	880.75	881.03	0.008690	1.81	9.96	17.51	0.77
riobatan	tramoeltescorial	4.5	Bridge										
riobatan	tramoeltescorial	4	T500	18.00	879.61	880.64	880.64	880.88	0.015627	2.17	8.28	17.26	1.00
riobatan	tramoeltescorial	3	T500	18.00	877.97	877.96	877.96	878.11	0.013532		10.54	36.06	0.00
riobatan	tramoeltescorial	2	T500	18.00	876.71	877.40	877.33	877.46	0.006022	1.27	17.41	68.13	0.61
riobatan	tramoeltescorial	1	T500	18.00	876.37	876.93	876.93	877.00	0.011613	1.42	17.14	115.18	0.81
CANAL	A TANQUE	21	T500	74.13	0.31	3.88	3.88	5.67	0.005547	5.92	12.51	3.50	1.00
CANAL	A TANQUE	12.000*	T500	74.13	0.20	3.78	3.78	5.57	0.005547	5.92	12.51	3.50	1.00
CANAL	A TANQUE	6.000*	T500	74.13	0.10	3.68	3.68	5.47	0.005547	5.92	12.51	3.50	1.00
CANAL	A TANQUE	0	T500	74.13	0.00	3.57	3.57	5.36	0.005551	5.93	12.51	3.50	1.00

Figura 90: Tabla de resultados del modelo Solución.



## 6. SOLUCIÓN PLANTEADA

### 6.1 TOPOGRAFÍA

El objetivo de este estudio, es realizar un plano de detalle de la zona en la que se ubicará el canal y el tanque de tormentas, por ello se realizará un levantamiento topográfico y un replanteo de las obras.

En el Anejo IV: PLANOS, se muestra la ubicación de las infraestructuras que se pretenden construir junto con la altimetría, curvas de nivel con equidistancia 0,5m.

Cabe destacar, que el plano topográfico que se presenta en el Anejo IV: PLANOS, se ha obtenido mediante el Software Global Mapper, en el que introduciendo el MDT georreferenciado, nos permite obtener las curvas de nivel con la equidistancia deseada, en este caso se optó por 0,5 m para que la precisión del plano fuera la adecuada. No obstante, tal y como se mencionó anteriormente, debe realizarse un levantamiento topográfico y un replanteo de las obras sobre el propio terreno en el que se ubicarán las infraestructuras, éste levantamiento topográfico no figura en el presente proyecto, pues es competencia de un proyecto topográfico.

Utilizando el plano topográfico obtenido con Global Mapper y a modo de una primera aproximación podemos obtener la siguiente información topográfica:

El sector en el que se proyectan las obras se encuentra en la zona sursuroeste de El Escorial, presenta una forma irregular, formado por la unión de dos parcelas irregulares que suman un área total de 3,67 Ha, aunque la superficie ocupada por las obras será de 0,34 Ha, la cota máxima del sector en el que se ubica el proyecto 894m al sursuroeste del sector y una cota mínima de 889m al noreste, lo que origina una leve pendiente de caída hacia el norte y este, con lo que se requiere nivelar al zona previo a la construcción. Como se puede apreciar se trata de una zona bastante llana, en la que no se presentan grandes pendientes, presentando el terreno en el que se asentará el tanque una pendiente de 9%.

En el levantamiento que se realice podrá emplearse una estación total, realizando una radiación que nos permitirá obtener datos de diferentes puntos singulares en el interior del sector en el que se ubicarán las construcciones. Las coordenadas serán obtenidas radiando desde dos estaciones en el interior de la parcela de manera que se tenga visibilidad de aquellos puntos singulares a levantar.

La radiación podrá ser orientada en caso de conseguir situar el origen en el norte geográfico, o en caso contrario desorientada, teniendo en cuenta que en este caso se estarán tomando lecturas y no acimutes como sería en el primer caso.

Las coordenadas de los puntos radiados serán obtenidas automáticamente por la estación total, introduciendo previamente: Altura del prisma, altura del aparato y coordenadas del punto de estación.

En último lugar, la información obtenida en campo será almacenada en una libreta electrónica que posteriormente permitirá volcar dicha información a un ordenador para procesar los datos.

Cabe destacar que no debe olvidarse realizar un correcto calculo y compensación de errores, tanto error de puntería, de señal o error de verticalidad.

●Error de puntería: También llamado error de colimación, es la desviación con respecto al ángulo recto entre el eje de puntería y el eje de inclinación.

$$ep = \frac{30}{A \cdot 2^{0,5}} \cdot (1 + 4A/100) = \frac{30}{30 \cdot 1,414} \left(1 + \frac{120}{100}\right)$$

●Error de señal: Se produce al colimar sobre una mira que no está exactamente alineada con la vertical, la mira o jalón se trata de poner vertical

$$\alpha = \frac{ee+es}{D} \cdot 1r^s = \frac{0,02}{200} \cdot 636620 = 63,66^{cc}$$

●Error de verticalidad: Incluye el error de lectura, debido a la lectura del nivel tórico.

$$ev = \frac{s}{12} = \frac{50^{cc}}{12} = 4,17^{cc}$$

Equipo de trabajo: ●Estación Total - Sokkia modelo Set3B.

- Estadillo de campo.
- Estacas.
- 2Miras.
- 3Chalecos reflectantes.
- 1Cinta métrica.

## 6.2 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

### 6.2.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

El objetivo del presente estudio geológico es recopilar las características geológicas que se cumplen en el emplazamiento del Tanque de tormentas y alrededores, tanto por la naturaleza de los materiales geológicos como por las propiedades mecánicas que condicionan la estabilidad de la obra, así como por el aumento del presupuesto final debido a los trabajos previos que la geología así determine.

También se deberá realizar un estudio geotécnico completo con el fin de obtener información detallada de la mecánica de suelos como la granulometría del suelo, humedad y plasticidad.

Las características del terreno determinarán los materiales a emplear en la obra, así como la resistencia y composición química que deberán tener, así como los trabajos previos a realizar para asegurar la estabilidad de la estructura.

Partiendo de los datos del estudio Geológico realizado en la zona y con la información contenida en la hoja 533 (18-21) del mapa geológico de España del instituto geológico y minero escala 1:50.000, sabemos que en la zona en la que estamos trabajando, encontramos Rocas ígneas plutónicas hercínicas, las cuales ocupan en superficie la mayor parte de esta hoja, en la leyenda las diferentes unidades diferenciadas están ordenadas por orden creciente de edad relativa, aunque hay que advertir, que por la falta de contactos directos entre muchas de estas unidades y por la escasez de datos geocronológicos, no se puede considerar como una ordenación totalmente definitiva.

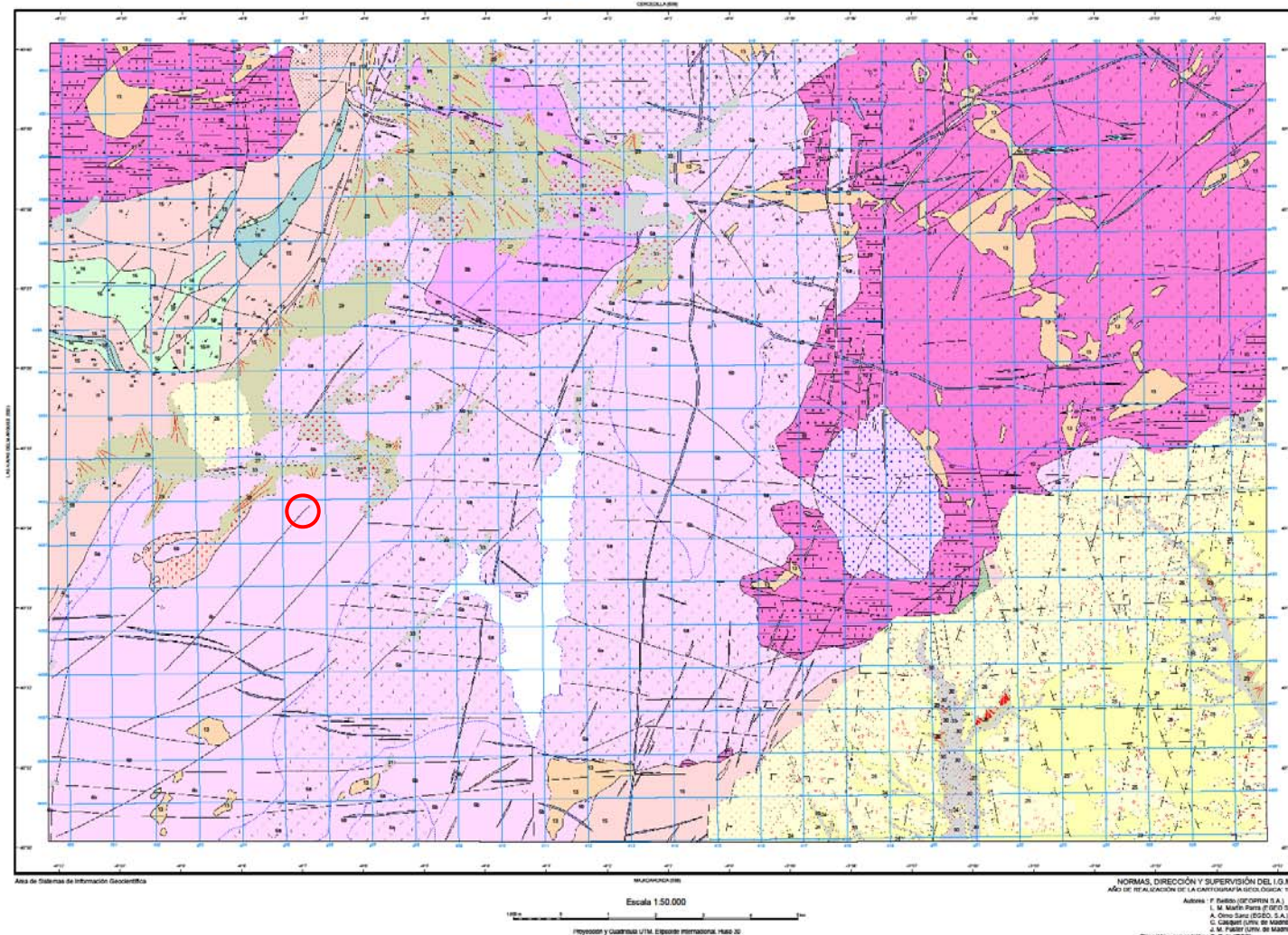
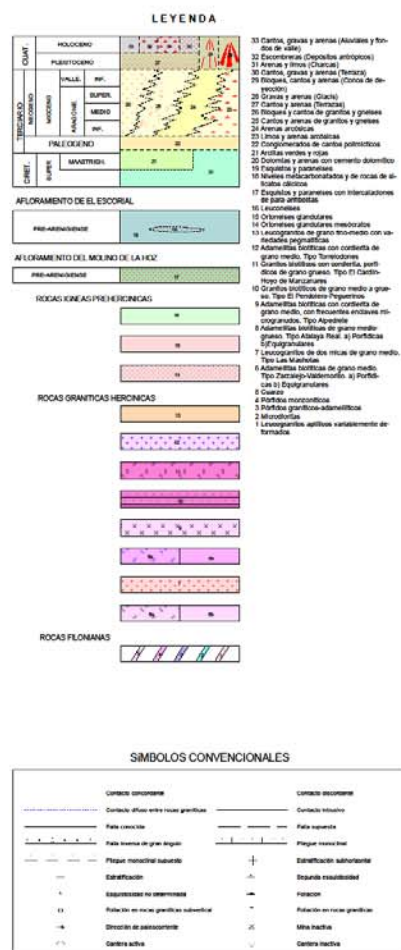
En la parcela en la que estamos trabajando podemos encontrar Adamellitas biotíticas de grano medio. Tipo Zarzalejo-Valdemorillo equigranulares: Este conjunto litológico ocupa la mayor parte del sector central y meridional de la hoja, la forma del afloramiento es alargada en dirección NE-SO, aunque se encuentra interrumpido por unidades plutónicas más recientes por el N y E. Está parcialmente recubierta por sedimentos cuaternarios en su zona noroccidental, que ocultan en gran parte el contacto con las formaciones metamórficas en la zona de El Escorial.

**MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA**  
Escala 1:50.000



## SAN LORENZO DEL ESCORIAL

533
10-21





Con respecto a las estructuras, se observa que las rocas del sector noroccidental presentan una orientación más o menos acentuada que se manifiesta en la disposición planar de los megacrístales, enclaves y agregados micáceos. Esta orientación es progresivamente más acentuada hacia los contactos con el macizo metamórfico de El Escorial.

Como hemos podido observar, en nuestra zona destacan en extensión las rocas graníticas, con lo cual a priori y a menos que el estudio geológico de detalle muestre lo contrario, las rocas sobre las que se asienta la construcción son de buenas cualidades, compactas duras y resistentes.

### 6.2.2 SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

También será necesario realizar una serie de sondeos eléctricos verticales en la zona en la que estamos trabajando, con los que obtendremos la potencia de los estratos de los diferentes materiales que se encuentran en este terreno, además es de utilidad para conocer si el terreno es apto para las obras que se proyectan realizar en la zona.

El método que se usará para realizar los sondeos será el método de Schlumberger (Figura 91), se trata de un método simétrico y el más común dentro de los sondeos eléctrico- verticales. Es una modificación del método de Wenner, ya que también emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores. Este método es de gran utilidad para conocer las resistividades de las capas más profundas, sin necesidad de realizar muchas mediciones como en el método de Wenner.

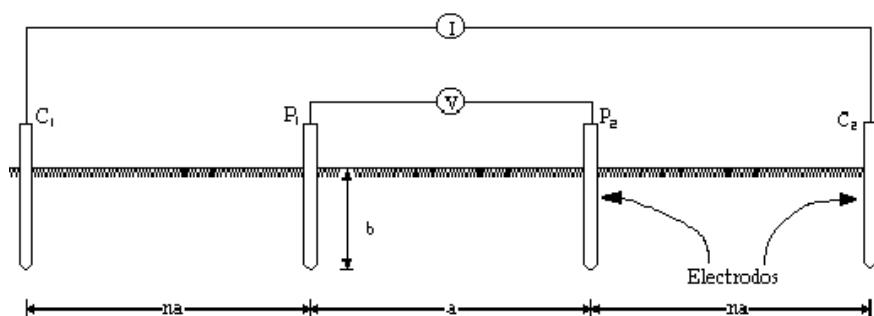


Figura 91: Esquema del método de Schlumberger.

Con este método podremos conocer la variación de la resistividad en el suelo. La resistividad del suelo es la resistencia que ofrece al paso de la corriente eléctrica, con lo que está determinada por: Sales solubles, composición del terreno, estratigrafía, granulometría, temperatura, compactación. Datos de especial interés en este estudio.

La distancia entre electrodos debe ser la necesaria como para poder obtener información de los 15-20 metros, con lo que los registros serán más que suficientes pues en esta obra la profundidad máxima de la excavación será de 10 metros.

La fórmula para el cálculo de la resistividad es:

$$\rho = K \times \frac{\Delta V}{I}$$

$\rho$ = Resistividad aparente.

K= Constante geométrica del dispositivo ( $\Omega m$ ).

I= Intensidad producida por los dispositivos (mA).

$\Delta V$ .= Diferencia de potencial entre electrodos

### 6.2.3 DETERMINACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO

Un aspecto de gran importancia a tener en cuenta, es la definición del nivel freático, ya que se trata de un empuje de cierta entidad, produciéndose en el presente caso una subpresión en la solera de cimentación, así como un empuje hidrostático en el trasdós de los muros.

La determinación de la cota del nivel freático es en ocasiones difícil de cuantificar y es por ello que se debe tener en cuenta con el máximo número de datos posibles y siempre del lado de la seguridad.

A continuación, se exponen los datos y consideraciones realizadas que conducen a la estimación de esta cota, la cual se deberá tener en cuenta para:

- La determinación de los esfuerzos sobre los muros y solera de la estructura.
- El cálculo de comprobación de la no flotabilidad de la estructura ante una eventual elevación del nivel freático hasta su cota máxima junto con la situación de vaciado del tanque (sólo peso propio).

La determinación de la cota del nivel freático se obtendrá gracias a los sondeos realizados en la zona y que ya se mencionaron en el anterior apartado, la presencia de agua se detectará a una determinada profundidad desde la cota de inicio de cada una de las perforaciones en la fecha en que se realicen estas.

También se obtendrá el valor de permeabilidad (K) de los materiales presentes en el emplazamiento. Por otro lado no debe descartar la posibilidad de que aparezcan filtraciones de agua por los rellenos antrópicos y/o suelo de alteración superficial y suelo de alteración de roca granítica.

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, durante la fase de vaciado será conveniente prever la ejecución de pozos de recogida de agua y la colocación de bombas de achique, que permitan evacuar la posible aparición de caudales controlables de agua hacia el exterior del vaciado.

## 6.2.4 VACIADO

En el tanque de tormentas proyectado, se ha previsto una excavación máxima de 10 m desde la superficie del terreno actual.

Durante la fase de excavación vaciado, será necesario retirar los rellenos antrópicos y/o suelo de alteración superficial con una determinada potencia según los reconocimientos realizados, también será necesario el empleo de bombas de achique para evitar problemas derivados de la aparición del nivel freático, tal y como se vio en el anterior apartado.

Debido a las características del terreno existente, en principio para llevar a cabo la excavación prevista, se podrá realizar un vaciado de tipo convencional, con taludes tendidos (del orden de 1H/1V).

En lo que respecta a la escalabilidad, atendiendo a la naturaleza del terreno existente, podrá llevarse a cabo mediante medios mediante maquinaria tipo retroexcavadoras, pala excavadora, ripper u orugas en materiales de tipo suelo (fácilmente ripables) con utilización de voladura en zonas ocupadas por roca granítica alterada (muy difícil de ripar).

En cuanto al cálculo del volumen de tierra movido en la excavación, cabe señalar que la exactitud de los métodos de cálculo de movimientos de tierras es un concepto relativo, siendo generalmente la magnitud absoluta del error despreciable cuando la comparamos con los enormes volúmenes de trabajo realizados. Es decir el error relativo ( $\Delta R$ ) en general es despreciable.

En el presente proyecto, se recomienda aplicar el método de las cuadrículas, el cual es uno de lo más “exactos” para el cálculo de los movimientos de tierra, este método mejora su exactitud cuándo se aplica en aquellos trabajos en los que predomina el área respecto a la altura, es decir es adecuado en: terrazas, explanadas o plataformas.

## 6.3 CANAL

### 6.3.1 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CANAL

En el apartado 5.3.2 se detallaron las características del diseño hidráulico del canal, en este apartado se hace alusión al procedimiento constructivo recomendado para la construcción del canal (Figura 92):

En primer lugar, se realiza una localización y replanteo, mediante la ayuda de topógrafos. Se señalará la zona con estacas, hilos y cal. En segundo lugar, será necesario realizar la excavación con excavadoras y zanjadoras, pues las dimensiones del canal así lo exigen, ya que un trabajo manual de excavación sería en este caso costoso y duradero.

Cuando se esté llegando a la profundidad deseada se verificarán los niveles para asegurar la pendiente de diseño, hecho esto se compactará el fondo del canal, perfilando los taludes.

Es recomendable disponer de un enchado (pirca) de aproximadamente 0,40 m sobre el que se situará el hormigón, pues nos servirá de sostenimiento del canal y mejorará la trazabilidad de este.

Un sistema muy empleado para el extendido del hormigón, consiste en colocar unas cuaderñas o maestras de madera, que se adaptan perfectamente a la sección excavada del canal y cuyo grueso es igual al espesor del revestimiento que se quiere obtener.

El hormigón fresco se extiende y alisa con un tablón que se apoya en las dos maestras, cuyo nombre se debe a que precisamente son las que dirigen la operación a realizar. El grueso queda por tanto del espesor deseado, siempre que el refino de la excavación del terreno esté hecho con suficiente exactitud.



**Figura 92: Método empleado en la construcción de canales.**

Es necesario saber, que la separación entre maestras debe ser igual a la separación deseada entre juntas de contracción. Se denomina paño al tramo revestido entre dos maestras consecutivas. El hormigonado, se realizará a paños alternos, es decir, uno si y uno no. Terminando el hormigonado de dos paños sucesivos (que han dejado entre si un paño sin hormigonar).

Una vez endurecido y fraguado el hormigón, se quitan las maestras y se hormigona el tramo intermedio por el mismo sistema, la única diferencia es que el tablón de alisado y compactado se apoya directamente sobre las superficies endurecidas de los paños colindantes.



Con este sistema habremos conseguido introducir juntas de retracción del hormigón, las cuales son la unión entre dos paños sucesivos.

Por último para impermeabilizar la junta, basta con aplicar un material impermeabilizante adecuado, bituminoso u otro.

Una vez que fragua el hormigón se puede aplicar un riego de curado sobre este. Por último es necesario advertir, que el apisonado manual del hormigón da lugar a una mala compactación, por lo que es recomendable utilizar maquinaria de compactación adecuada para obtener buenos resultados.

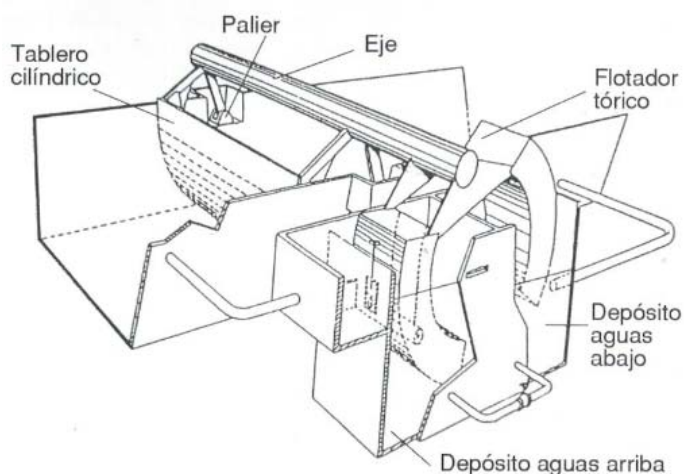
### 6.3.2 SISTEMA DE COMPUERTAS

Para controlar la entrada de caudales al canal y por ende al tanque de tormentas, dispondremos un sistema de compuertas que cumpla esta función. Pues durante la época estival, no tendría sentido permitir la entrada de pequeños caudales al canal, dejando al cauce sin disponer del caudal mínimo ecológico.

Inicialmente se pensó disponer de compuertas eléctricas, pues permitían numerosos beneficios, sin embargo poseen ciertas restricciones, como pueden ser: la necesidad de una línea de alimentación de corriente eléctrica, que en zonas aisladas es costosa de colocar y además este tipo de compuertas son vulnerables a las tormentas.

Es por ello que se propone disponer de un sistema de compuertas automáticas mixtas de nivel constante aguas arriba y aguas abajo (Figuras 93,94), las cuales funcionan de la siguiente manera: Hay un nivel mínimo aguas arriba, para el cual la compuerta cierra totalmente, impidiendo que se vacíe el canal. Cuando se supera el nivel mínimo aguas arriba y el caudal continúa subiendo alcanzándose el nivel deseado, la compuerta permite el paso del caudal, con lo que el desnivel entre aguas arriba y aguas abajo será uno prefijado. A partir de ese nivel aguas arriba y aunque este suba, la compuerta mantiene un nivel aguas abajo constante e igual al deseado, esta situación se mantendrá hasta que el nivel aguas arriba alcance el máximo, (en este caso  $74,13 \text{ m}^3/\text{s}$ ) es entonces cuando abrirá completamente para evitar el desbordamiento del canal.

El diseño de este tipo de compuertas es ingenioso y complejo, pues constan de un tablero de forma circular, acoplado a dos flotadores circulares iguales, rígidamente soldados al eje de la compuerta y que están prácticamente sumergidos en dos cubas de agua, conectadas respectivamente con los tramos de aguas arriba y aguas debajo de la compuerta. Tienen la propiedad de que cuando la diferencia de niveles de agua en las dos cubas es la misma, el par de giro resultante es fijo, independientemente de que ambos niveles suban o bajen por igual.



**Figura 93: Esquema de compuerta mixta.**

Este tipo de compuertas consigue optimizar su funcionamiento cuando se disponen varias en un mismo canal, lo cual permite que los caudales liberados en exceso por una compuerta, sean almacenados en otra aguas abajo o bien en el caso contrario, que cuando una compuerta cierra por falta de caudal, las compuertas de aguas abajo, permitan hacer frente a las demandas de los usuarios gracias al volumen de agua que tenían almacenada.



**Figura 94: Compuerta mixta.**

## 6.4 TANQUE DE TORMENTAS

### 6.4.1 DESCRIPCIÓN DEL TANQUE

En primer lugar, realizaremos una clara descripción de lo que se entiende por Tanque de tormentas: Un Tanque de tormentas, es aquella infraestructura hidráulico-sanitaria destinada a optimizar la gestión de los flujos de los sistemas unitarios en tiempo de lluvia mediante estrategias de regulación y tratamiento de los mismos. Con esta gestión de los flujos de aguas residuales, se consigue evitar o reducir inundaciones o bien minimizar los vertidos de un sistema de saneamiento al medio receptor, consiguiendo un rendimiento mejor de la EDAR, al poder regular los caudales, evitando sobrecargas hidráulicas en ésta.

#### 6.4.1.1 CLASIFICACIÓN

Una vez definido y entendido el concepto en el párrafo anterior, debemos precisar que la infraestructura que se pretende disponer, no queda representada completamente por la anterior definición, si bien, se ha optado por mantener dicho nombre ya que el diseño de dicha infraestructura es prácticamente idéntico al de un Tanque de tormentas, además de cumplir la función Anti-inundación, y si bien es cierto, se considera interesante la idea de realizar una pequeña innovación sobre una infraestructura ya existente, ampliando horizontes, como es el caso de solventar la problemática de una posible inundación por un desbordamiento de un cauce fluvial mediante la construcción de dicha infraestructura.

A continuación, procedemos a realizar una pequeña clasificación del Tanque de tormentas que pretendemos disponer, el Manual Nacional de recomendaciones para el diseño de Tanques de tormenta (2014) establece la siguiente clasificación:

- Depósitos Anti-DSU: Cuya función principal es evitar vertidos contaminantes al medio receptor durante sucesos de lluvia.
- Depósitos Anti-inundación: Cuya función principal es evitar inundaciones debidas a insuficiencias hidráulicas de la red de saneamiento.
- Depósitos mixtos: Como el propio nombre indica cumplen ambas funciones anteriormente descritas.

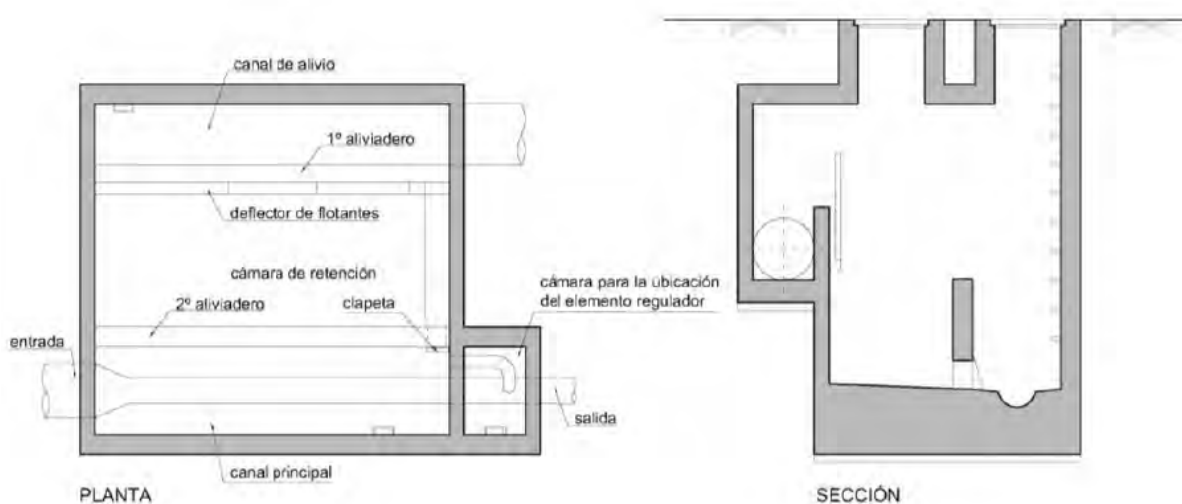
Por tanto, el tanque de tormentas que abarca este proyecto es un Tanque de tormentas Anti-inundación. Nótese la diferencia y similitud que anteriormente se comentaba, pues si bien es cierto que en el presente proyecto no se produce inundación por una insuficiencia de red de saneamiento alguna, si se produce inundación como consecuencia de un incremento de caudal en un curso fluvial, cuya solución pasa al igual que en una red de saneamiento por disponer un deposito anti-inundación que almacene ese incremento de

caudales.

En cuanto a la clasificación del tanque en función de su posición:

- Tanques de tormenta en línea u On-Line.
- Tanques de tormenta fuera de línea u Off Line (Figura 95).

Cabe señalar que el tanque no puede clasificarse como Fuera de Línea, pues los tanques de tormenta en línea están ubicados en la traza del colector, en nuestro caso si se intentará extrapolar el concepto sería como si se tratase de ubicar el tanque en la traza del cauce fluvial, lo cual no es ni debe ser así debido a que la dinámica del curso fluvial que sufren los ríos podría traer problemas a la infraestructura, con lo que en caso de aplicar una clasificación de la posición del tanque tendría que ser fuera de línea. En este caso el cauce fluvial tiene libertad de movimiento y es en él en que donde se realizará una desviación del caudal para conducirlo al Depósito para ser almacenado.



**Figura 95: Tanque de Tormentas fuera de línea.**



**Figura 96: Ubicación del Tanque de Tormentas.**



El Tanque de tormentas que dispondremos será tipo depósito de retención combinados, el cual contará con varios compartimentos que funcionen de forma acoplada y secuencial (Figura 96). Al igual que sucede al disponer de Tanques de tormenta fuera de línea en una red de saneamiento, el volumen almacenado será de considerable magnitud, siendo una estructura relativamente cara.

Por otra parte, el Tanque admite una sub-clasificación en función de la gestión de las aguas entrantes, en este caso, el depósito será de un depósito fluyente en el que una vez se llena y sigue recibiendo agua se produce un desbordamiento por un aliviadero situado en el propio tanque.

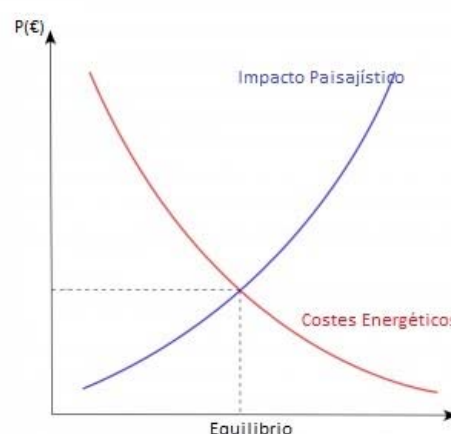
Hasta el momento hemos realizado una clasificación del tanque del que se dispondrá, siendo un Tanque de Tormentas Anti-inundación fuera de línea. A continuación, describiremos el sistema de vaciado:

Pudiendo ser de tres tipos: ● Vaciado por gravedad.

● Vaciado por bombeo.

● Vaciado mixto.

Para saber qué tipo de sistema de vaciado escoger, se necesita disponer de la información topográfica previamente obtenida en el apartado 6.0 TOPOGRAFÍA, de aquí deducimos que el tanque de tormentas será semienterrado, pues de cara a reducir el impacto visual paisajístico de las obras al máximo lo ideal sería realizarlo enterrado, pero en este caso teniendo en cuenta la profundidad de las obras estaríamos incurriendo en unos elevados costes energéticos a causa del vaciado, que como no podría ser de otra forma tendría que realizarse mediante bombeo, por otra parte el hecho de tratar de reducir los costes energéticos al máximo supondría realizar el tanque superficial, con lo que el vaciado se realizaría por gravedad sin necesidad de emplear bombeo alguno, sin embargo, en este caso el impacto visual de las obras sería desmesurado. Es por ello que la elección óptima es un Tanque de Tormentas semienterrado, con esta tipología se consiguen la ventaja de reducir el impacto visual al encontrarse gran parte de la infraestructura bajo rasante, mientras que por otro lado ganamos cota sobre ésta, lo que beneficia de cara a disminuir los costes en excavación y movimiento de tierras, a la vez que posibilita realizar parte del vaciado por gravedad, reduciendo los costes energéticos (Figura 97).



**Figura 97: Costes energéticos vs impacto paisajístico.**

A raíz de lo anteriormente expuesto, podemos concluir que la clasificación completa del tanque sería: Tanque de Tormentas Anti-inundación fuera de línea con vaciado mixto.

#### 6.4.1.2 ALIVIADERO

##### 6.4.1.2.A DISEÑO

El aliviadero es aquel dispositivo asociado a una conducción, o infraestructura desde el que se produce el rebose de las aguas circulantes hacia el medio receptor en episodios de lluvia inusuales, este dispositivo asociado al tanque de tormentas, permite regular los caudales durante los episodios de lluvias y posteriormente evacuarlos de forma controlada con el objetivo de reducir los volúmenes.

A continuación se muestran los elementos que conforman el aliviadero (Figura 98):



Figura 98: Elementos básicos de un aliviadero en un tanque de tormentas.

A continuación, se procede a detallar cada uno de los elementos previamente descritos que conforman parte del aliviadero:

- **Obra de entrada:** Es aquella que permite el paso de agua al interior del depósito en tiempos de lluvias extremas (sólo en los tanques fuera de línea), mientras que, en tiempo seco, el agua circulará aguas abajo evitando su entrada al depósito.
- **Cámara de retención:** Las características de esta cámara dependerán en gran medida del volumen de agua previsto a almacenar en el tanque, en este caso se tiene un volumen de  $38.622 \text{ m}^3$ .
- **Obra de salida:** En este proyecto, la obra de salida es aquella que permite restituir las aguas reguladas al cauce aguas abajo. La obra de salida contará con un dispositivo regulador, que permita regular el caudal de vaciado del depósito aguas abajo, optimizando el funcionamiento del depósito y permitiendo gestionar los tiempos de llenado y vaciado de éste.

El dispositivo regulador de la obra de salida con el que se regulará el vaciado del tanque puede cumplir su función mediante: Orificios calibrados, válvulas tipo vórtice, compuertas con acondicionamiento manual o motorizado o bien mediante bombas en caso de vacío por impulsión.

En este caso, cabe recordar que el tanque que se proyecta es semienterrado, con lo que el vacío del depósito se realizará por gravedad hasta una determinada cota, mientras que para los niveles bajo rasante será necesario disponer de un sistema de bombeo.

De los anteriores sistemas para la regulación en la obra de salida, contaremos con los siguientes:

- **Orificios calibrados:** Este sistema consiste en crear un paso mediante una ventana rectangular o circular (Figura 99), de dimensiones conocidas por la cual es posible conocer mediante fórmulas empíricas, el caudal que es capaz de circular a través de ella. O bien calcular el área transversal a partir del caudal a verter conocido.

$$Q = v \times A$$

$$v = \sqrt{2 \times g \times H}$$

Dónde: Q= Caudal vertido en  $\text{m}^3/\text{s}$

v= Velocidad de paso a través del orificio en  $\text{m}^3/\text{s}$

A= Área transversal del orificio en  $\text{m}^2$

H=Altura del agua en el interior del tanque sobre rasante en m



**Figura 99: Área del orificio.**

$$v = \sqrt{2 \times g \times H}$$

$$v = \sqrt{2 \times 9.81 \times 2} = 6,26 \text{ m/s}$$

$$Q = v \times A$$

$$\frac{6 \text{ m}^3}{\text{s}} = 6,26 \text{ m/s} \times A \rightarrow A \approx 1 \text{ m}^2$$

- **Bombas:** La regulación de los caudales se efectúa en función de las características de la bomba, siendo su principal desventaja el consumo de energía eléctrica, tal y como ya se mencionó anteriormente la regulación de los caudales mediante bombeo se dará cuando el nivel del agua se encuentre bajo la rasante, en este caso hasta 10 metros de profundidad.

Las bombas que se dispondrán serán bombas sumergibles, para un caudal de 93,5 m<sup>3</sup>/h y altura manométrica de 10 m.c.a.

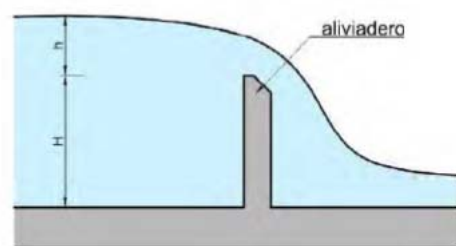
*Nota\*:* Se dispondrán dos bombas, para asegurar el vaciado del depósito, pues en caso de avería en una de ellas se utilizará la otra en su lugar, es recomendable disponer por duplicado aquellos dispositivos electromecánicos, como medida de seguridad.

- Aliviadero propiamente dicho (Figura 100): El aliviadero tiene la función de conducir hasta el medio receptor aquellos volúmenes de agua que exceden la capacidad de almacenamiento. En el presente proyecto se dispondrá un aliviadero con tanque de retención adosado, éste consiste en una obra de fábrica construida in situ.

Para el diseño del aliviadero partiremos de la premisa de que la velocidad de aproximación del fluido puede considerarse nula, por su bajo valor, con lo que la longitud del aliviadero puede calcularse mediante la

siguiente formulación:  $Q = C_w \times L \times h^{\frac{3}{2}}$

Dónde: Q= Caudal de alivio en m<sup>3</sup>/s  
C<sub>w</sub>= Coeficiente (ver Tabla adjunta)  
L= Anchura del muro de alivio (m)  
h= Altura de la lámina de alivio (m)  
H= Altura del vertedero (m)



**Figura 100: Aliviadero.**



$$Q = 6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_w = ?$$

L = Anchura del muro de alivio m

$$h = 1,5 \text{ m}$$

$$H = 11,5 \text{ m}$$

Relación geométrica	Altura de agua sobre el Aliviadero							
H/h	h=0.05	h=10	h=0.20	h=0.40	h=0.6	h=0.8	h=1	h=1.5
1	2.361	2.285	2.272	2.266	2.263	2.262	2.262	2.261
1	2.082	2.051	2.037	2.030	2.027	2.026	2.025	2.024
2	1.964	1.933	1.919	1.912	1.909	1.908	1.907	1.906
10	1.870	1.839	1.824	1.817	1.815	1.814	1.813	1.812
Infinito	1.846	1.815	1.801	1.793	1.791	1.790	1.789	1.788

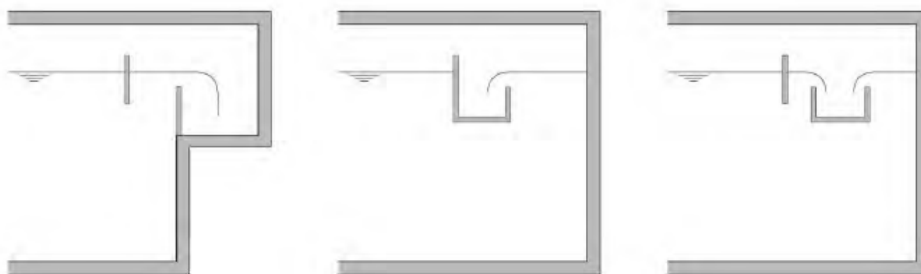
**Tabla 9: Coeficiente  $C_w$ .**

Introduciendo los valores anteriormente expuestos relativos a las características del aliviadero y extrapolando, obtenemos el valor  $C_w$ :  $C_w = 1,839$

Por tanto, la anchura del muro de alivio será:

$$\frac{6 \text{ m}^3}{\text{s}} = 1,839 \times L \times 1,5^{3/2} \rightarrow L = 1,78 \approx 2 \text{ m}$$

El aliviadero, estará equipado con una pantalla deflectora (Figura 101) que minimice el vertido de sólidos flotantes al medio receptor, la pantalla deflectora consiste en colocar en el muro del aliviadero una pantalla semisumergida que crea una especie de sifón a la salida que evita el vertido al cauce de los sólidos flotantes. El elemento deflector será de 600mm de altura y 2 metros de espesor de PRFV.



**Figura 101: Distintas posiciones de las pantallas deflectoras.**

#### 6.4.1.2.B REUTILIZACIÓN DE AGUA

Para conocer el volumen de agua a suministrar necesitamos conocer las demandas de agua que se satisfacen con dicho excedente de agua almacenado en periodos de lluvias extremas, estas demandas serán: Agua para Hidrantes del parque de Bomberos situado a escasos metros del tanque (suministrada con el volumen de agua desaguado por gravedad), mientras que el agua a cotas inferiores (bajo rasante) será extraído mediante bombeo, y se utilizará para suministrar agua a las tierras de cultivo próximas al tanque en las que los regantes la almacenarán en pequeños depósitos (actualmente disponibles) para periodos de sequía.

##### -Demanda de Hidrantes:

La decisión de suministrar agua de las cotas superiores a los hidrantes en lugar de a los regantes, se debe a la sedimentación que se dará en el interior del depósito como consecuencia de una diferencia de densidades, en la que una aportación con alto contenido en partículas en suspensión a los hidrantes no es nada aconsejable, mientras que al regadío no le sería tan perjudicial.

$$V(m^3) = DHidrantes (m^3) = 6.000m^3$$

##### -Demanda Agrícola:

$$V(m^3) = Dagrícola(Ha) \times Dot \left( \frac{m^3}{Ha \cdot año} \right) = 1.48 Ha \times 18.500 \left( \frac{m^3}{Ha \cdot año} \right) = 27.380 m^3/año$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Dot}_{\text{neta}} = 3.700 \left( \frac{m^3}{Ha \cdot año} \right) \\ \text{Gravedad Baja Eficiencia} = 0,2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Valores obtenidos del libro: "Gestión de recursos Hídricos". Balairon Pérez, Luis.} \\ \\ Db = \frac{DN}{Ef} = \frac{3700}{0,2} = 18.500 \left( \frac{m^3}{Ha \cdot año} \right) \end{array}$$

Db=Dotación bruta

DN= Dotación neta → Cultivos hortícolas en la cuenca del Tajo.

Ef= Eficiencia del sistema de riego empleado.

Haciendo un pequeño balance con el volumen de agua almacenado en el tanque y las demandas existentes a atender (hidrantes y regadío) se presenta una situación satisfactoria, pues las demandas se atienden con éxito, aprovechando el agua de las extremas precipitaciones.

Previamente se calcula el Volumen del Tanque de Tormentas:

Una primera aproximación para conocer el volumen mínimo de almacenamiento del flujo que debe tener el tanque, se obtendría mediante la diferencia del volumen de la inundación (obtenido previamente del estudio en régimen permanente) y el máximo caudal que podría llevar el río durante el periodo de la inundación sin desbordar.

$$V_{tanque}(m^3) = V_{Hidrograma}(m^3) - Q_{rio}(\frac{m^3}{s}) \times t_{inundación}(s)$$

$$V_{tanque}(m^3) = 48.000m^3 - 18 \frac{m^3}{s} \times 521(s) = 38.622 m^3$$

***Balance = Volumen almacenado – Volumen demandado***

$$Balance = 38.622 - 6.000 - 27.380 = 5.242m^3$$

Nos queda un excedente de  $5.242 m^3$ , cuyo uso podría evaluarse más adelante, en función de alguna nueva necesidad, o bien devolverlo al cauce receptor del que provenía.

#### 6.4.1.3 LOCALES TÉCNICOS

El tanque de tormentas contará con un espacio donde se encontrarán los distintos elementos que permiten realizar la explotación y mantenimiento del mismo, dado que el tanque será semi-enterrado, ubicar este compartimento bajo tierra resultaría más complejo, al tener que aumentar la zona de excavación, por lo que aprovechando que ya existe parte del tanque sobre la rasante, exactamente 4 metros sobre esta (2 metros de almacenamiento de agua sobre superficie más 2 metros sobre esta para visitas técnicas), se propone adosar esté compartimento al tanque con una altura de 2 metros.

#### 6.4.1.4 SISTEMA DE TELECONTROL

El sistema de telecontrol permite realizar la explotación integrada del tanque de tormentas con el resto de elementos que lo conforman, midiendo y analizando el estado del depósito y de dichos elementos que se encuentran inherentes al tanque de tormentas.

Para realizar dichas mediciones en tiempo real y poder efectuar un telecontrol del tanque se dispondrán:

- **Pluviómetros:** Dada la “pequeña” extensión de la zona en que se ubica el proyecto, se considera suficiente disponer 3 pluviómetros separados a una equidistancia de 80 m para determinar el volumen de agua caído así como la intensidad de la lluvia.
- **Limnímetros:** Se utilizarán un par de limnímetros para medir los niveles de agua existentes en determinados puntos del tanque.

- Boyas: Se utilizarán dos boyas como elementos de seguridad, ya que en caso de fallar algún limnómetro ocupará la boya la función de éste.
- Detectores de marcha y parada de bombas: Se utilizarán para conocer el estado de cada una de las bombas presentes en el tanque.
- Protectores de bombas: Estos protectores entran en marcha cuando detectan un sobrecalentamiento de la bomba, normalmente se da al trabajar en vacío, con lo que se activa un sistema que para el funcionamiento de la bomba.
- Protecciones eléctricas: Estas protecciones sirven para proteger de los sobrecalentamientos y sobretensiones dadas en los cuadros eléctricos.
- Sensores de intrusismo: Estos sensores son utilizados para conocer si algún operario se encuentra en el interior del tanque, se utilizará para ello detectores de presencia, por ser los más utilizados.
- Cámaras de TV: Estas cámaras serán de utilidad para poder supervisar desde el centro de control las operaciones realizadas por los operarios en el interior de la instalación.
- Red de comunicaciones: Se dispondrá una red de comunicaciones en el interior del tanque para permitir la comunicación entre la estación remota y el centros de control.
- Centro de control: Por último es imprescindible contar con un centro de control, que contará con un computador central, desde el cual se supervisará que los anteriores elementos funcionen adecuadamente, tomando en caso contrario las medidas correctoras adecuadas en el menor tiempo posible.



## 6.4.2 DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE RETENCIÓN

### 6.4.2.1 CLASIFICACIÓN

En primer lugar, cabe destacar, que en función de la capacidad de almacenamiento del tanque de tormentas las dimensiones de sus respectivas cámaras de retención variarán, así como las instalaciones y elemento inherentes a ellas.

En este proyecto el volumen máximo de agua a almacenar (calculado en el aparato 8.2.1.2.B) es de 38.622 m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta este volumen, procedemos a describir los distintos elementos y sistemas que se encontrarán en la cámara de retención, indispensables para un correcto funcionamiento de la infraestructura.

En primer lugar cabe recordar la geometría del tanque, ésta será rectangular semi-enterrada y construida con hormigón armado. Esta tipología se caracteriza por tener una fácil implementación de los sistemas de limpieza automáticos, siendo propia de zonas urbanas consolidadas.

### 6.4.2.2 ALIVIADEROS INTERIORES

El Tanque de tormentas no sólo contara con el aliviadero cuya función es la de conducir hasta el medio receptor aquellos volúmenes de agua que exceden la capacidad de almacenamiento, sino que también debe contar con una serie de aliviaderos interiores, denominados aliviaderos de compartimentación interior. Éstos tienen la función de separar los diferentes compartimentos que tendrá la cámara de retención.

### 6.4.2.3 ACCESIBILIDAD

El tanque debe dispondrá de las obras de acceso necesarias para que el personal de mantenimiento pueda desarrollar sus trabajos en el interior de la cámara de retención, es por ello que se dispondrán pasarelas perimetrales escalonadas con acceso a la solera.

*Nota\*: En el interior de la cámara de retención también se hallarán salidas de emergencia.*

### 6.4.2.4 COMPUERTAS

Las compuertas son elementos mecánicos que mediante su movimiento, ya sea total o parcial, permiten regular con un importante grado de precisión el caudal de entrada y salida de la cámara. Cabe señalar que para evitar en la medida de lo posible la entrada de sólidos flotantes y no deseados se dispondrán unas rejillas de desbaste, con la función de retenerlos en la entrada al paso del flujo por la compuerta.

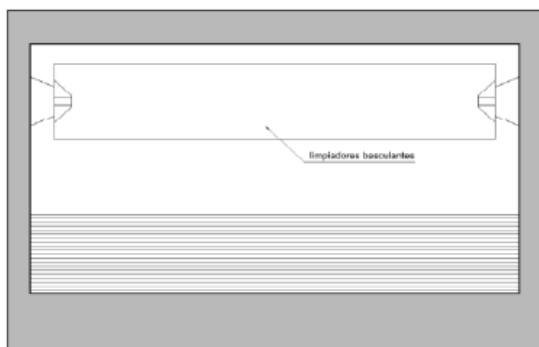
Por tanto, se dispondrán:

- 2 Rejas de separación de sólidos con limpieza automática, ancho de canal 3,5m y alto 2,5m. Separación entre pletinas 10 mm de acero inoxidable, e inclinada 75°.
- 2 Compuertas deslizantes de canal abierto de accionamiento manual: dimensiones 3,5x2,5m. Éstas serán las encargadas de aislar los canales de tamizado previstos para facilitar su explotación y mantenimiento.
- 1 Compuerta mural de 2x2m de accionamiento manual, para el By-pass.
- Tornillo transportador de 3000mm+700mm de longitud para la recogida de residuos retenidos en la reja de funcionamiento principal.

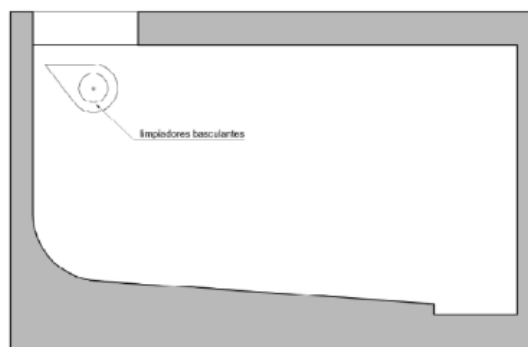
#### 6.4.2.5 SISTEMAS DE LIMPIEZA

Uno de los elementos más importantes del tanque de tormentas es el sistema de limpieza utilizado, pues tras el episodio de lluvia, el depósito se irá vaciando según su capacidad de evacuación, quedando en su interior los residuos arrastrados por la escorrentía y decantados durante su estancia en el mismo. Estos residuos deben extraerse lo antes posible para evitar olores, septicidad o incluso problemas en el funcionamiento del tanque. Esto se consigue con el sistema de limpieza.

Como elemento auxiliar se ha dotado al Tanque de tormentas de un dispositivo de limpieza consistente en 7 volteadores o limpiadores de volquetes o basculantes (Figuras 102,103). Éstos consisten en unos depósitos, que en situación normal están en posición de equilibrio, y una vez alcanzan la capacidad de agua para la que están dimensionados, se descentra el centro de gravedad, basculando y generando por ello una ola que barre todos los sedimentos acumulados hacia la parte más baja del depósito, están fabricados con acero inoxidable. Bajo éstos volteadores que forman el sistema de limpieza se debe disponer de un cuenco de amortiguación (similar al utilizado en presas arco) para evitar una erosión de la solera y además mejorar la ola generada.



**Figura 102: Alzado limpiador basculante.**



**Figura 103: Perfil limpiador basculante.**

El agua que contienen estos volteadores vendrá de una acometida de agua potable para su llenado así como para las tomas auxiliares de agua de limpieza, para su instalación u posible sustitución se realizarán unos huecos en el forjado del tanque, provistos de tapas metálicas, con cierre de seguridad. La longitud máxima de estos volteadores será de 6 metros, se han colocado 7 unidades en serie, uno por cada compartimento del tanque.

Al final del tanque de tormentas y en su cota más baja se dispondrá de un canal de recogida que almacene todo el volumen de los 7 volteadores sin que se produzcan retornos flotantes arrastrados.

Se dispondrá para su evacuación un sistema de bombeo caudal de 93,50 m<sup>3</sup>/s h y presión de 10 m.c.a. que conducirán el agua mediante la correspondiente conducción de impulsión a un pozo de rotura de carga y desde este al pozo de registro del colector de saneamiento más cercano.

#### 6.4.2.6 VENTILACIÓN

Debido a los variados compuestos químicos capaces de producir olor, y los distintos umbrales de percepción en función de las características propias de cada compuesto, el tanque debe disponer de una buena ventilación, para ello se permitirá la salida del aire del interior del depósito al exterior mediante aberturas en las paredes del tanque (las cuales dispondrán de rejillas para evitar la intrusión de personal ajeno al de mantenimiento). También se utilizarán filtros de carbón activo para el tratamiento del aire en el interior.

#### 6.4.2.7 OTRAS INSTALACIONES

Por último, dentro de la cámara de retención del tanque de tormenta es fundamental contar con una serie de instalaciones auxiliares, sin las cuales la explotación de éste sería casi imposible de realizarse.

Éstas son:

- Sistema de impulsión para el vaciado de la cámara, ya que parte de ella se encuentra 10 m bajo rasante.
- Suministro de agua para limpieza.
- Sistema de iluminación y luminaria de emergencia.
- Sistema portante tipo pórtico grúa.

#### 6.4.3 CONSTRUCCIÓN

##### 6.4.3.1 ELECCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

El sistema constructivo elegido es el sistema de construcción invertida, el cual es el propio de los tanques de gran profundidad > 5m y que además necesitan el uso de cubierta, lo cual es propicio para el presente proyecto, al tener una profundidad de 10m y la necesidad de disponer cubierta a 4m sobre rasante.

La secuencia constructiva será la siguiente:

- Ejecución de muro continuo de pantallas.
- Ejecución de pilares mediante módulos pantallas o pilotes.
- Ejecución de cubierta.
- Excavación del volumen del tanque
- Ejecución de solera

##### 6.4.3.2 SOLERA

La solera tendrá un acabado completamente liso con un espesor en toda su superficie de 60 cm y con una pendiente del 3%, entre los distintos carriles utilizados para conducir el agua hasta el canal de recogida, el cual tendrá una pendiente del 2% llegando en su punto más bajo a pozo de bombas.

##### 6.4.3.3 CERRAMIENTO LATERAL

En cuanto al sistema de cerramiento lateral del tanque se dispondrán pantallas continuas para su realización.

#### 6.4.3.4 PILARES

Los pilares se realizarán mediante módulos pantalla o pilotes. En cuanto al número de pilotes estos coincidirán con los muros que separan los diferentes carriles, quedando los carriles de limpieza exentos de cualquier obstáculo, además los pilares tendrán una forma lo más redondeada posible, evitándose secciones rectangulares o cuadradas.

#### 6.4.3.5 CUBIERTA

En cuanto al diseño de la cubierta, está respetará los 2m de gálibo exigidos por el manual de recomendaciones de Tanques de tormenta, quedando pues 2m sobre la cota de las pasarelas perimetrales y la cota inferior de la cubierta, además la cubierta contará con todos los accesos necesarios, así como los correspondientes sistemas ventilación anteriormente mencionados. Por último, se recomienda realizar una impermeabilización de la cubierta, especialmente en aquellas zonas en las que la entrada del agua puede ser crítica para el funcionamiento del tanque.

#### 6.4.3.6 COMPARTIMENTACIÓN

Dada la ingente magnitud del tanque de tormentas proyectado ( $38.622 m^3$ ), se realizarán sucesivos compartimentos en el cuerpo de almacenamiento, con lo que se optimiza tanto la gestión del tanque como su mantenimiento. Además, se permite un vaciado selectivo al medio receptor, en función del compartimento que se desea vaciar.

En el presente proyecto, se disponen 3 compartimentos, con una disposición horizontal, en la que cada compartimento queda adosado al anterior. La longitud de cada compartimento será de 14 m, contando cada uno de éstos 4 calles de 3,5 metros cada una, con lo que se cubren los 42 m lineales del ancho proyectado.

#### 6.4.3.7 POZO DE BOMBAS

El equipo de bombeo se situará en un pozo que debe cumplir las siguientes características:

- El pozo se situará en el punto más bajo de depósito.
- El pozo tendrá capacidad para almacenar en su interior todo el volumen de agua procedente del sistema de limpieza.

#### 6.4.3.8 CONSTRUCCIÓN DE COLECTORES

Será necesario disponer de algunos colectores, al menos para evacuar las aguas del sistema de limpieza, que como ya se mencionó, estas irán a parar a un canal de recogida dentro del tanque y desde este mediante un sistema de impulsión se conducirán a un pozo de rotura de carga y para ir a parar al pozo de registro del colector de saneamiento más cercano. Por tanto, la excavación para dichos colectores se realizará a cielo abierto, pues la profundidad de excavación no será excesiva  $< 6m$ .



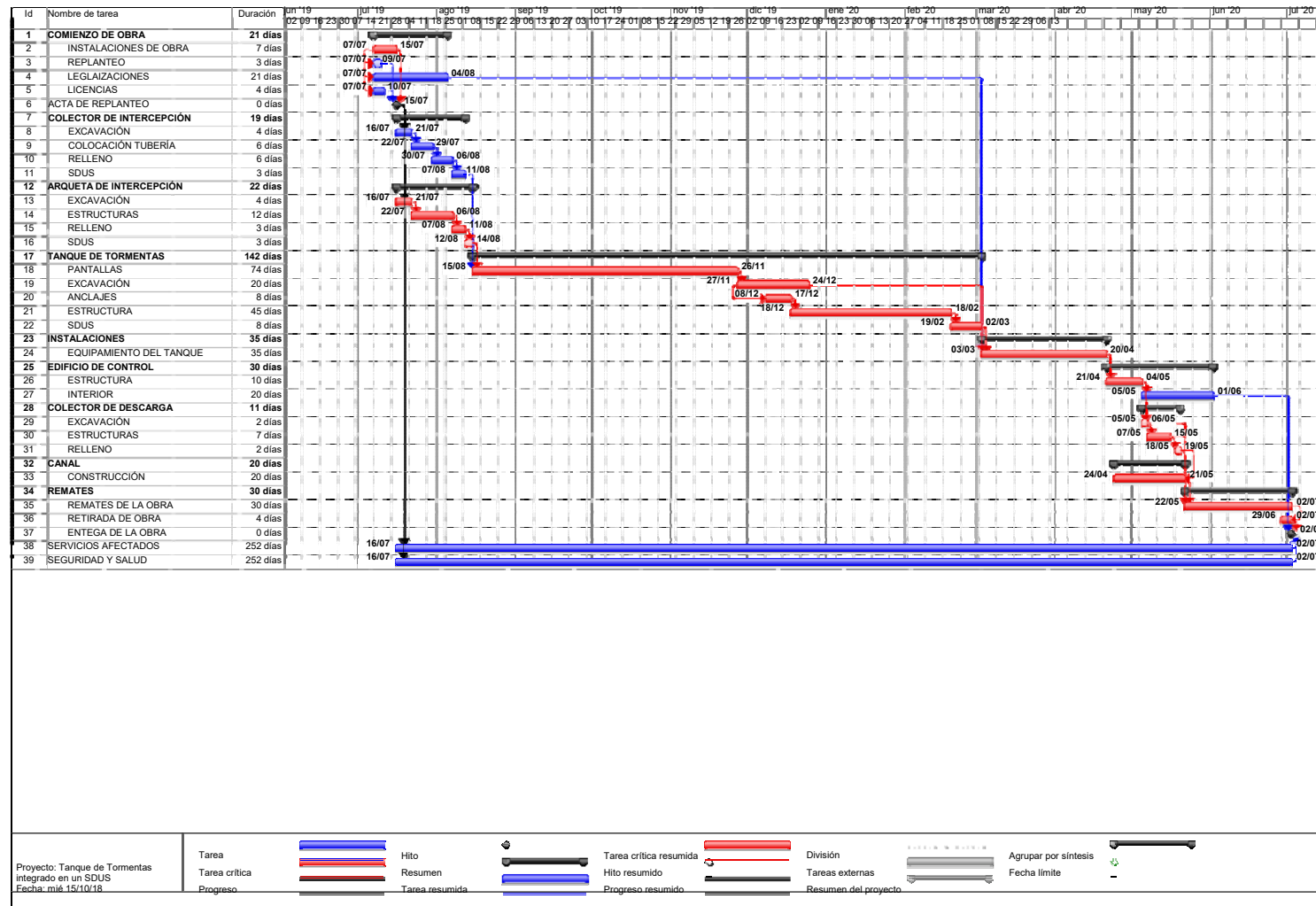
#### 6.4.3.9 DIAGRAMA DE GANTT

Este apartado se realiza con el objetivo de programar las actividades, y cumplir con la duración del proyecto, determinando el avance de cada actividad, se asignará un responsable en cada actividad.

Mediante este diagrama, relacionamos las actividades de forma que se pueda ver el transcurso del proyecto y se refleja una escala de tiempo que facilitará la ejecución del presupuesto.

Disponer de este diagrama es vital para relacionar el tiempo con la carga de trabajo.

Por tanto, se describe el plan de obra mediante el Diagrama de Gantt adjunto:



#### 6.4.4 MANTENIMIENTO

Debido a que el tanque de tormentas estará sujeto a condiciones severas, como humedades elevadas, gases corrosivos y acumulación de lodos, es imprescindible llevar a cabo unas determinadas labores de mantenimiento para evitar averías o en caso de que éstas se produzcan, tomar las medidas correctoras necesarias.

Dentro de las tareas que comprenden los trabajos de mantenimiento, se encuentran labores de: inspección, limpieza, conservación, reparación, rehabilitación, y actualización de los equipos que conforman la instalación.

En cuanto a las operaciones de mantenimiento, podemos establecer una clasificación en función del momento en el que se lleven a cabo dichos trabajos:

- **Mantenimiento Preventivo:** Cuando las actuaciones se toman para evitar la aparición de futuros problemas, una buena práctica de estas labores de mantenimiento permitirá una disminución de los costes de los trabajos de mantenimiento correctivo, los tipos de actuaciones que comprende son: inspección, análisis de la infraestructura y medidas preventivas a tomar.
- **Mantenimiento Correctivo:** Cuando las actuaciones se toman para solucionar un problema que ya se ha presentado, los tipos de actuaciones que comprende son: detección diagnóstico, y solución de la avería.
- **Mantenimiento Predictivo:** Cuando las actuaciones se toman a partir de la monitorización de las instalaciones, este tipo de medidas permiten disminuir los costes de los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo, los tipos de actuaciones que comprende son: monitorización de los equipos presentes, detección de anomalías en estos y medidas a tomar para solventar el problema.

Los trabajos de mantenimiento, deben contar con una óptima mano de obra, así como del equipo empleado con el objetivo de conseguir un buen estado de la infraestructura, capaz de cumplir sus funciones de una manera eficiente.

Además, cabe indicar algunos de los equipos que más demandan actividades de mantenimiento, principalmente por la importante función que cumplen en el tanque y las nefastas consecuencias que tendría una avería en ellos, entre ellos destacaremos:

- Mantenimiento de los bombeos, debido a las sedimentaciones que se suelen dar en los pozos de bombeo.
- Mantenimiento de las compuertas, pues una avería en ellas inutilizaría el funcionamiento del tanque.
- Mantenimiento de los sensores, conviene un correcto mantenimiento de ellos por la importancia de la información que revelan sobre el estado actual del tanque.

Por último, destacaremos que los trabajos de mantenimiento no sólo sirven para llevar a cabo el correcto funcionamiento del tanque de tormentas, sino que también evitan afecciones a terceros, como son la propagación de plagas. Debido a los desechos arrastrados por el agua, la acumulación de residuos y las humedades presentes pueden propagarse plagas de cucarachas, insectos, ratas y demás animales, por ello unas adecuadas labores de mantenimiento son imprescindibles para evitar tales problemas.

## 6.5 INTEGRACIÓN DEL PROYECTO EN UN SDUS

### 6.5.1 MOTIVACIÓN DE LA INTEGRACIÓN EN UN SDUS

En la actualidad, la mayoría de las ciudades son eminentemente urbanas, lo que afecta de manera significativa al recurso más importante de nuestro planeta, el agua.

En los albores del siglo XXI a nuestra sociedad le preocupan cada vez más los problemas medioambientales que sufrimos, en especial los que incumben al recurso hídrico, debido a las principales amenazas que se ciernen sobre el planeta, algunas de ellas son:

- Escasez de agua, o falta de calidad de la misma. Según datos de la ONU 1.200 millones de personas carecen de agua potable. Creciendo el consumo de agua tres veces más rápido que la población.
- Falta de calidad. La insalubridad del recurso les cuesta la vida a tres millones de personas al año (*Fuente ONU*).
- Reducción de caudales naturales agua y sobreexplotación de acuíferos debido a las excesivas demandas de agua.
- Degradación de zonas regables como consecuencia de malas prácticas de riego o defectuosas.

Ante tales amenazas sobre el agua, con la directiva 2000/60/CE la Unión Europea establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de las políticas del agua, promoviendo un uso sostenible de la misma.

Mediante la integración en un Sistema de drenaje urbano sostenible, se pretende conseguir una integración urbano-hidrológico-paisajística del proyecto, velando por la sostenibilidad, disminuyendo el impacto ambiental del proyecto y mitigando los volúmenes máximos de escorrentía, reduciendo caudales punta.

### 6.5.2 INTRODUCCIÓN A LOS SDUS

Los Sistemas de drenaje urbano sostenible (SDUS), son elementos integrantes de las infraestructuras urbano-hidrológico-paisajísticas, destinados a filtrar, retener, transportar y almacenar agua de lluvia, sin que la misma se contamine, e incluso eliminando parte de la carga contaminante que pudieran contener inicialmente. Son sistemas que vienen aplicándose con éxito en países como Reino Unido, EE.UU, Japón, Australia, Francia, Alemania entre otros. Estos sistemas cumplen con los objetivos de las políticas de agua en España y Europa.

Los SDUS cumplen un triple objetivo:  $\left. \begin{array}{l} \text{-Evitar inundaciones y colapso de sistemas convencionales.} \\ \text{-Evitar la contaminación difusa.} \\ \text{-Evitar la desnaturalización} \end{array} \right\}$

**-Evitar inundaciones y colapso de sistemas convencionales:** La incapacidad para evacuar de manera inmediata grandes cantidades de agua de lluvia en un corto periodo de tiempo de los sistemas convencionales hace que se produzcan inundaciones con frecuencia en las partes más bajas de las ciudades provocando importantes daños materiales.



**Figura 104: Triángulo de la sostenibilidad.  
Cumbre de Río 1992.**

**-Evitar la contaminación difusa:** Desde hace años se tiene comprobado que las aguas de lluvia también son contaminadas en su trayecto a la EDAR, algo que años atrás se desconocía y no se las trataba con el adecuado tratamiento. Las aguas de lluvia se ven contaminadas por diversos contaminantes, que van desde partículas en suspensión, a desechos que se encuentran en las calles.

**-Evitar la desnaturalización:** Como ya se mencionó anteriormente, las ciudades son un conjunto urbanizado en el que carece la masa verde natural, lo que conlleva un aumento de la escorrentía y por ende una disminución de la infiltración de las aguas en el terreno con su respectiva escasez de las recargas naturales de los acuíferos, aumentando el efecto de la isla calor y produciendo un impacto visual negativo.

Por tanto, mediante la integración del proyecto en un SDUS, implantaremos zonas verdes, que servirán como elemento de control y regulación del agua pluvial.

### 6.5.3 ELECCIÓN DEL SDUS

Dentro de los sistemas de drenaje urbano sostenible, encontramos un “abanico” bastante amplio de opciones a elegir, distinguiendo principalmente entre medidas estructurales y no estructurales, también podemos distinguir las medidas en función de cómo tratan la contaminación de las aguas o Incluso si actúan donde se genera la escorrentía o por el contrario aguas abajo de la cuenca.

Para tomar una decisión del sistema a implantar utilizaremos las matrices que propone la organización CIRIA, las cuales consideran distintos factores que afectan a cada SDUS. También nos serviremos y tendremos en cuenta, la publicación del CEDEX “Gestión de las aguas pluviales en ámbito urbano. Técnicas de drenaje urbano sostenible”.



## A. MATRICES DE SELECCIÓN PROPUESTAS POR CIRIA

En función de:

**Las características físicas del lugar de emplazamiento de la TDUS:**

\*Requiere de alguna instalación adicional o condición determinada para su correcto funcionamiento.

\*\*Al menos que siga la pendiente natural del terreno que alcanza ese valor

NR: Posible, pero no recomendado.

Grupo de SDUS	Técnica	Suelo		Área de drenaje para cada técnica independiente		Profundidad del nivel freático		Pendiente		Carga hidráulica		Espacio disponible	
		Permeable	Impermeable	0-2 ha	> 2 ha	0-1 m	> 1 m	0-5 %	> 5 %	0-1 m	1-2 m	Poco	Elevado
Retención	Estanque de retención	Sí	Sí*	Sí	NR	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Almacenamiento subsuperficial	Sí	Sí	Sí	NR	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Humedal	Humedal poco profundo	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Estanque de detención extendido	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Estanque/Humedal	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Humedal pequeño	Sí*	Sí*	Sí*	No	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
	Humedales con gravas sumergidas	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Humedal en canal	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
Infiltración	Zanjas de infiltración	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
	Estanques de infiltración	No	Sí	Sí	NR	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
	Pozos de infiltración	No	Sí	Sí	NR	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Filtración	Filtros de arena superficiales	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí
	Filtros de arena subsuperficiales	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí
	Filtros de arena perimetrales	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
	Biorretención	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Zanjas filtrantes	Sí	Sí*	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Detención	Estanques de detención	Sí	Sí*	Sí	NR	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí
Canales abiertos	Cunetas	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No**	Sí	No	No	Sí
	Cunetas secas	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No**	Sí	No	No	Sí
	Cunetas húmedas	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No**	Sí	No	No	Sí
Control en fuente	Green roof	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Recolección de agua de precipitación	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No
	Pavimento permeable	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí

**Los usos del suelo en el lugar de emplazamiento de la TDUS:**

Grupo de SDUS	Técnica	Baja densidad	Zona Residencial	Carreteras locales	Zona comercial	Zonas en construcción	Zonas industriales
Retención	Estanque de retención	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Almacenamiento subsuperficial	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Humedal	Humedal poco profundo	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Estanque de detención extendido	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Estanque/ Humedal	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Humedal pequeño	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Humedales con gravas sumergidas	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Humedal en canal	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Infiltración	Zanjas de infiltración	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Estanques de infiltración	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Pozos de infiltración	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Filtración	Filtros de arena superficiales	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Filtros de arena subsuperficiales	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Filtros de arena perimetrales	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Biorretención	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Zanjas filtrantes	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Detención	Estanques de detención	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Canales abiertos	Cunetas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Cunetas húmedas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Cunetas secas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Control en fuente	Green roof	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	Recolección de agua de precipitación	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	Pavimento permeable	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí

El rendimiento del control de la calidad del agua de la TDUS:

A: Alto potencial.

M: Medio potencial.

B: Bajo potencial.

S/A: Sin aplicación.

Grupo de SDUS	Técnica	Tratamiento potencial de la calidad del agua					Control hidráulico			
		Eliminación de los sólidos suspendidos totales	Eliminación de metales pesados	Eliminación de nutrientes (fósforo, nitrógeno)	Eliminación de microorganismos	Capacidad para eliminar sólidos disueltos y en suspensión	Reducción del volumen de escorrentía	Idoneidad del control para tormentas de diferente periodo de retorno		
								0,5 años	10-30 años	100 años
Retención	Estanque de retención	A	M	M	M	A	B	A	A	A
	Almacenamiento subsuperficial	B	B	B	B	B	B	A	A	A
Humedal	Humedal poco profundo	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Estanque de detención extendido	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Estanque/ Humedal	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Humedal pequeño	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Humedales con gravas sumergidas	A	M	A	M	A	B	A	M	B
Infiltración	Humedal en canal	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Zanjas de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	B
	Estanques de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	A
Filtración	Pozos de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	B
	Filtros de arena superficiales	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Filtros de arena subsuperficiales	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Filtros de arena perimetrales	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Biorretención	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Zanjas filtrantes	A	A	A	M	A	B	A	A	B
Detención	Estanques de detención	M	M	B	B	B	B	A	A	A
Canales abiertos	Cunetas	A	A	A	M	A	M	A	A	A
	Cunetas húmedas	A	A	M	A	A	B	A	A	A
	Cunetas secas	A	A	A	M	A	M	A	A	A
Control en fuente	Green roof	S/A	S/A	S/A	S/A	A	A	A	A	B
	Recolección de agua de precipitación	M	B	B	B	S/A	M	M	A	B
	Pavimento permeable	A	A	A	A	A	A	A	A	B

Los factores ambientales y sociales afectados o implicados en la selección de la TDUS:

A: Alto potencial.

M: Medio potencial.

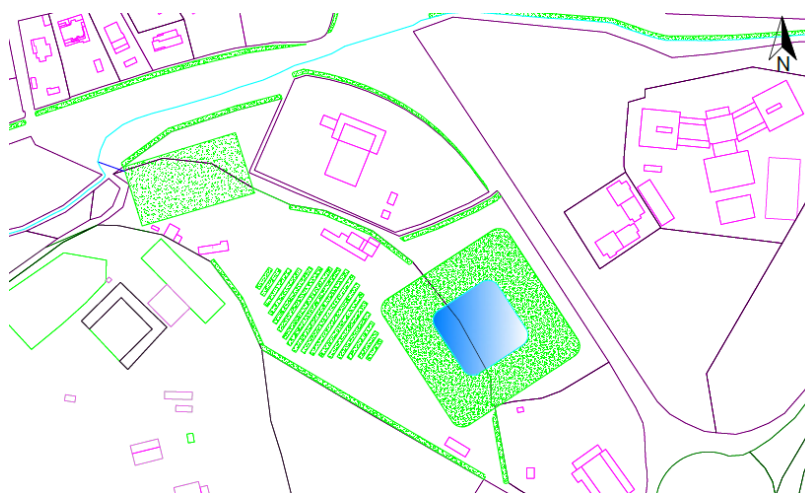
B: Bajo potencial.

Grupo de SDSU	Técnica	Mantenimiento	Aceptación de la comunidad	Coste	Potencial de creación de hábitats
Retención	Estanque de retención	M	A	M	A
	Almacenamiento subsuperficial	B	A	M	B
Humedal	Humedal poco profundo	A	A	A	A
	Estanque de detención extendido	A	A	A	A
	Estanque/ Humedal	A	A	A	A
	Humedal pequeño	A	M	A	A
	Humedales con gravas sumergidas	M	B	A	M
	Humedal en canal	A	A	A	A
	Zanjas de infiltración	B	M	B	B
Infiltración	Estanques de infiltración	M	A	B	M
	Pozos de infiltración	B	M	M	B
	Filtros de arena superficiales	M	B	A	M
Filtración	Filtros de arena subsuperficiales	M	B	A	M
	Filtros de arena perimetrales	M	B	A	M
	Biorretención	A	A	M	A
	Zanjas filtrantes	M	M	M	B
	Estanques de detención	B	A	B	M
Canales abiertos	Cunetas	B	M	M	M
	Cunetas húmedas	M	M	M	A
	Cunetas secas	B	M	M	M
	Green roof	A	A	A	A
Control en fuente	Recolección de agua de precipitación	A	M	A	B
	Pavimento permeable	M	M	M	B

Analizando las distintas matrices propuestas por CIRIA, decidimos como medias a implantar un depósito de detención superficial de forma rectangular con medidas de 50 x 50m y distintas franjas filtrantes de 3 metros de anchura en las proximidades al tanque de tormentas, además de disponer una cubierta vegetal o Green-roof sobre el tanque de tormentas 78x42m, (Figura 105).

*\*Ver ANEJO IV: PLANOS*

A continuación, realizaremos una descripción más exhaustiva de cada una de estos SDUS.



**Figura 105: Integración del proyecto en un SDSU.**



**Depósito de detención superficial (Figura 106):** Se trata de un depósito que permite almacenar temporalmente la escorrentía generada aguas arriba, laminando caudales punta y atenuando los picos de caudal, además favorece la sedimentación de contaminantes eliminándolos de la masa de agua, una función secundaria que consiguen es mejorar el impacto paisajístico, sirviendo de zona recreativa.



**Figura 106: Depósito de detención superficial.**

**Franjas filtrantes (Figura 107):** Como su propio nombre indica se trata de franjas de poca pendiente cubiertas de vegetación, comprendidas entre zonas impermeables y el medio que recibe la escorrentía, con este sistema favorecemos la sedimentación de partículas arrastradas por el agua y su infiltración. Un aspecto importante a considerar es que a mayor anchura a atravesar por el agua y a mayor densidad de vegetación los resultados conseguidos por las franjas filtrantes serán mejores.



**Figura 107: Franja filtrante.**

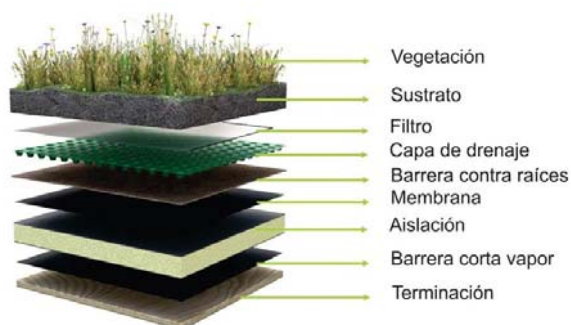
**Cubierta vegetal o Green-roof (Figuras 108,109):** Están concebidas para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Estructuralmente consisten en un sistema multicapa colocado sobre las cubiertas de los edificios/construcciones sobre el que se favorece el crecimiento de vegetación. Este sistema, además retiene contaminantes, actúa como capa aislante térmico y ayuda a compensar el efecto “isla calor” que se produce en las ciudades.



**Figura 108: Cubierta vegetal o Green-roof.**

Además de las ventajas mencionadas en el párrafo anterior, mediante un sistema de Green-roof sobre el tanque de tormentas conseguimos mejorar la estética de la construcción, integrar la infraestructura en una zona verde y aislar la temperatura del tanque frente a temperaturas extremas.





Por último, cabe destacar que, se necesitarán unos requisitos mínimos de mantenimiento en los SDUS implantados, tales como: riego de la vegetación en determinadas ocasiones, comprobar el estado de la flora, siendo necesario reemplazar la vegetación cuando se considere como mejoría del SDUS y retirar residuos en dichas zonas.

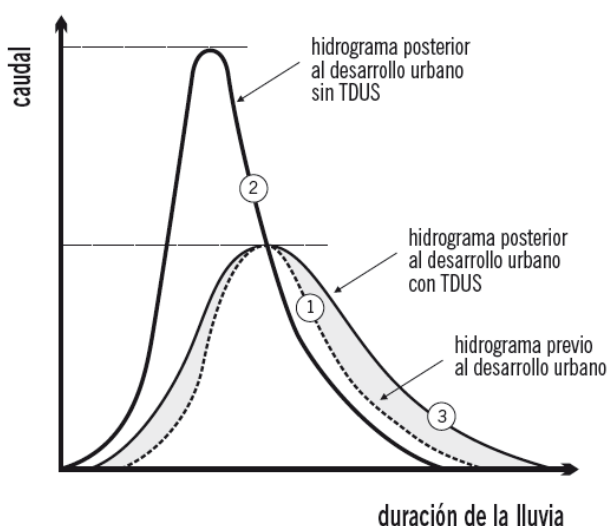
**Figura 109: Capas de un Green-roof.**

## B. PUBLICACIÓN DEL CEDEX SOBRE LOS SDUS

Consultando la publicación del CEDEX “Gestión de las aguas pluviales en ámbito urbano. Técnicas de drenaje urbano sostenible”.2012. Podemos comprobar la eficacia que supone implantar SDUS en una determinada cuenca.

La urbanización de las ciudades supone un incremento de la escorrentía y por ende una disminución de la recarga natural de los acuíferos, con la implantación de los SDUS paliamos este problema además de conseguir una reducción del caudal punta presentado en la cuenca, lo cual nos es de especial de interés en este proyecto al tratarse de proyecto de inundabilidad.

A continuación podemos ver los distintos hidrogramas generados (Figura 110): (1) Previo al desarrollo urbano (2) Con una urbanización en la que no se han aplicado SDUS, (3) Con una urbanización en la que se han aplicado SDUS. *Nota\*: Aunque el caudal máximo tras la implantación del SDUS sea igual al caudal máximo en las condiciones anteriores al desarrollo urbano, se presenta en la zona sombreada el incremento de volumen y duración del aguacero debido a la urbanización de la cuenca.*



**Figura 110: Respuesta hidrológica de una cuenca urbana para distintos escenarios.**



# ANEJO I: INFORMACIÓN CATASTRAL

A continuación, se ofrece información de las dos parcelas en las que se ubicará la infraestructura proyectada:

**INFORMACIÓN GRÁFICA** E: 1/4000

Este documento no es una certificación catastral, pero sus datos pueden ser verificados a través del "Acceso a datos catastrales no protegidos" de la SEC.

404.800    Coordenadas U.T.M. Huso 30 ETR589

Límite de Manzana

Límite de Parcela

Límite de Construcciones

Mobiliario y aceras

Límite zona verde

Lunes , 6 de Agosto de 2018

**INFORMACIÓN GRÁFICA** E: 1/4000

Este documento no es una certificación catastral, pero sus datos pueden ser verificados a través del "Acceso a datos catastrales no protegidos" de la SEC.

**404,800** Coordenadas U.T.M. Huao 30 ETR089

**Lunes , 6 de Agosto de 2018**

RF	SUPERFICIE (m2)	SUPERFICIE (m2)	CLASE	USO
4724502VK0942N0001PL	12.974	12	Urbano	INDUSTRIAL
4724501VK0942N0001QL	23.766	891	Urbano	ALMACEN/APARCAMIENTO/DEPORTIVO
TOTAL (m2)	36.740	903	Urbano	

**Tabla 10: Información catastral.**



# ANEJO II: NORMATIVA

### **Máximas lluvias diarias en la España Peninsular**

- Máximas lluvias diarias en la España Peninsular: Ministerio de Fomento, dirección de carreteras.

([http://epsh.unizar.es/~serreta/documentos/maximas\\_Lluvias.pdf](http://epsh.unizar.es/~serreta/documentos/maximas_Lluvias.pdf))

### ● **Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (Orden FOM/298/2016)**

(<https://www.boe.es/boe/dias/2016/03/10/pdfs/BOE-A-2016-2405.pdf>)

### **Hormigón Estructural**

- Real Decreto 1247/2008, de 18 de Julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural.

(<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-14167>)

### **Ley de prevención de riesgos laborales.**

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre de Prevención de riesgos laborales.

([https://www.boe.es/legislacion/codigos/codigo.php?id=037\\_Preencion\\_de\\_riesgos\\_laborales&modo=1](https://www.boe.es/legislacion/codigos/codigo.php?id=037_Preencion_de_riesgos_laborales&modo=1))

### **Normativa de estudios de Impacto Ambiental .**

- Ley 21/2013 de 9 de diciembre de Evaluación Ambiental, actualizada 15 de junio de 2017.

(<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913>)

### **Normativa de Residuos y suelos contaminados.**

- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

(<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-13046>)





# ANEJO III: REPORTAJE FOTOGRAFICO

## 1. INTRODUCCIÓN

Este anejo tiene por objeto completar la información anteriormente expuesta mediante un soporte gráfico. De esta forma, el lector puede hacerse una mejor idea de la zona estudiada. Las imágenes que a continuación se muestran, revelan las características de la zona, como es área en la que se presenta la inundación junto con los equipamientos que rodean el cauce fluvial, además de mostrar la parcela en la que se ubicará el Tanque de Tormentas.

## 2. PUENTES SOBRE EL ARROYO DEL BATÁN

En la siguiente documentación gráfica se muestran los puentes que atraviesa el arroyo del Batán desde aguas arriba a aguas abajo a su paso por el municipio de El Escorial, el motivo por el cual se muestran no sólo es para una mejor comprensión de la zona descrita, sino por la importancia que dichas construcciones pueden tener a la hora de presentarse la inundación, lo cual quedó patente en el apartado 5.3 HIDRÁULICA.



Figura 111: Puente carretera M-505.



Figura 112: Puente carreta Barrio Cruz.



Figura 113: Puente carretera Barrio Cruz.



Figura 114: Puente de acceso al IES Escorial.





**Figura 115: Segundo puente de acceso al IES Escorial.**



**Figura 116: Segundo puente de acceso al IES Escorial.**



**Figura 117: Puente carretera M-600.**



**Figura 118: Puente carretera M-600.**

## **2. CULTIVOS AGRÍCOLAS EN LAS PROXIMIDADES AL CAUCE**

A continuación se muestran las tierras de cultivo próximas al cauce (Figuras 119,120,121), sobre las cuales se hacía referencia al principio de dicho proyecto y que en parte quedan cubiertas por la llanura de inundación.



**Figura 119: Cosechas próximas al cauce.**



**Figura 120: Cosechas próximas al cauce.**



**Figura 121: Desbordamiento del cauce inundando algunas cosechas.**



### **3. INSTITUTO PÚBLICO IES ESCORIAL**

Puede observarse al fondo de la imagen el centro de enseñanza IES Escorial (Figura 122), el cual ya sufrió una pequeña inundación en el año 2006 que impidió el acceso de estudiantes por su entrada habitual, siendo necesario habilitar una entrada alternativa y que tal y como se muestra en el estudio hidráulico es susceptible de sufrir severas inundaciones.



**Figura 122: Instituto público IES Escorial.**

### **4. PARCELA EN LA QUE SE UBICARÁ EL TANQUE DE TORMENTAS**

A continuación se ofrece una imagen en planta de la parcela en la que se ubicará el tanque de tormentas (Figura 123), se muestra la imagen mediante una ortofoto debido a la gran extensión del terreno que hace que las fotografías tomadas no muestren bien la zona en cuestión.



**Figura 123: Parcela en la que se ubicará el Tanque.**





# ANEJO IV: PLANOS

- PLANOS DE INFORMACIÓN:
  - PLANO DE SITUACIÓN
  - PLANO DE TOPOGRAFÍA
  - PLANO DE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
  - PLANO DEL CATASTRO: TIPOS DE SUELOS
  
- PLANOS DE LAS INFRAESTRUCTURAS:
  - PLANOS SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL
  - PLANOS DEL TANQUE DE TORMENTAS:
  - PLANO DE LA INTEGRACIÓN EN UN SDUS





— Delimitación del Sector

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Javier Marcos Pizarro

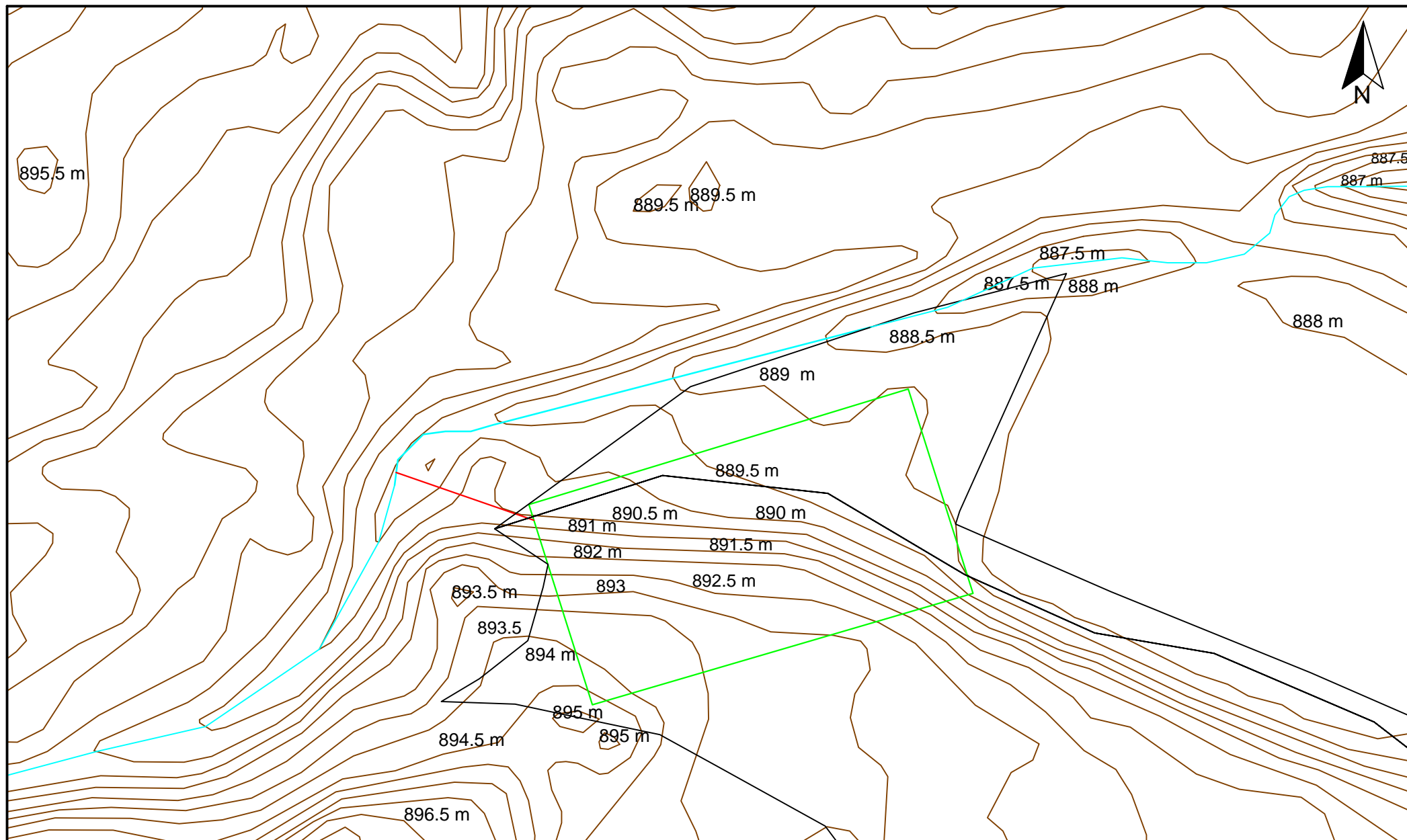
Escuela Politécnica Superior de Ávila

Ingeniería Civil

Plano de Situación







- Arroyo del Batán
- Canal
- Tanque de Tormentas
- Parcela Los Cacerones

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Javier Marcos Pizarro

Escuela Politécnica Superior de Ávila

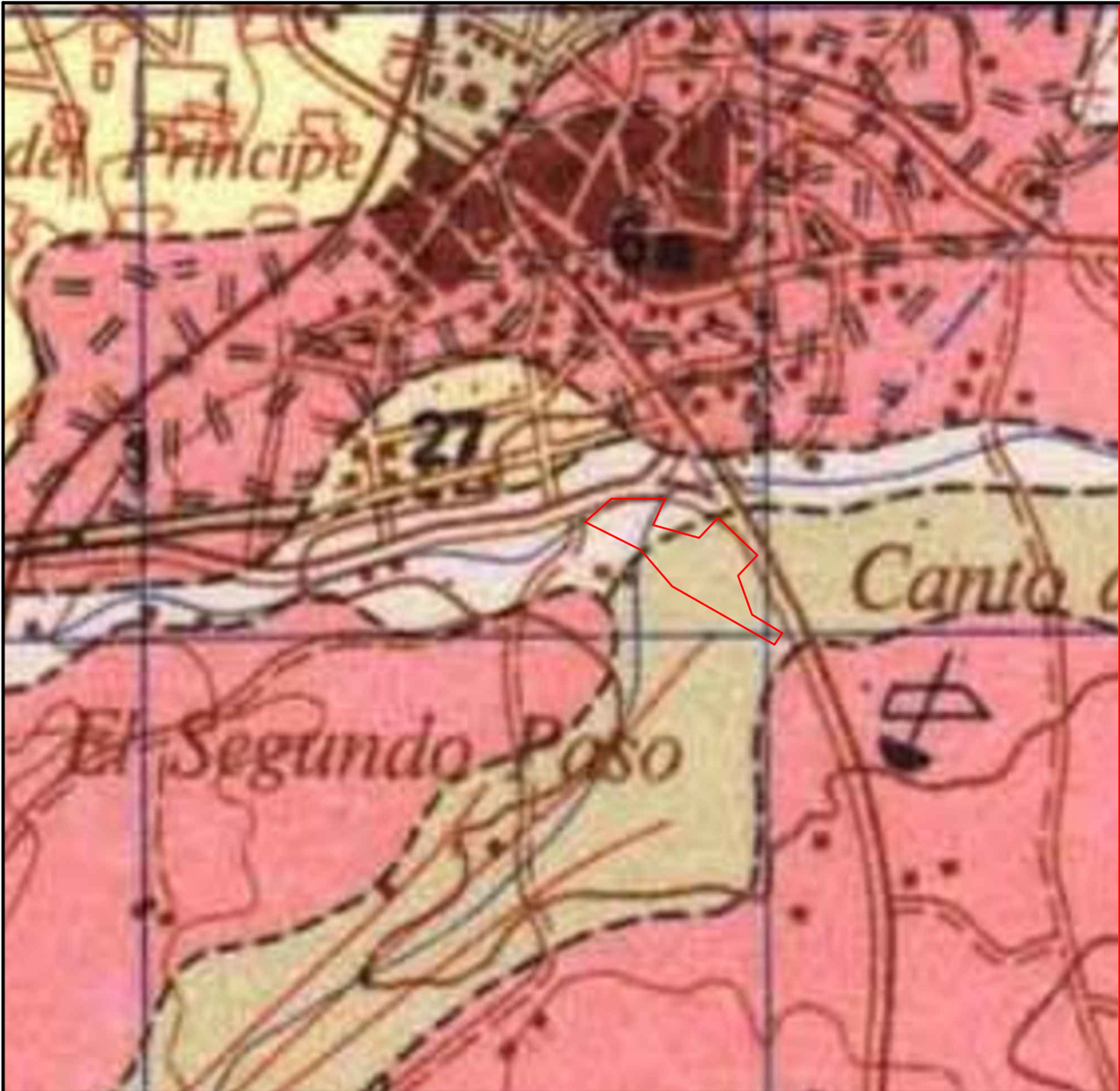
Ingeniería Civil

Plano Topográfico

uds.= m

ESCALA: 1:1000





LEYENDA

TERCIARIO	CUATERNARIO	HOLOCENO		33	32	31	30	29	28	33 Cantos, gravas y arenas (Aluviales y fondos de valle) 32 Escombros (Depósitos antrópicos) 31 Arenas y limos (Charcas) 30 Cantos, gravas y arenas (Terrazas) 29 Bloques, cantos y arenas (Conos de deyección) 28 Gravas y arenas (Glacia) 27 Cantos y arenas (Terrazas) 26 Bloques y cantos de granitos y gneises 25 Cantos y arenas de granitos y gneises 24 Arenas arcólicas 23 Limos y arenas arcólicas 22 Conglomerados de cantos polimíticos 21 Arcillas verdes y rojas 20 Dolomías y arenas con cemento dolomítico	
		PLEISTOCENO		27	26	25	24	23	22		
	NEÓGENO	MIOCENO	ARAGONIENSE	VALLESIENSE	INFERIOR	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	PALEÓGENO		
CRETÁCICO	SUPERIOR	MAASTRICHTIEN		21	20						

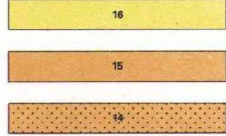
AFILORAMIENTO DE EL ESCORIAL



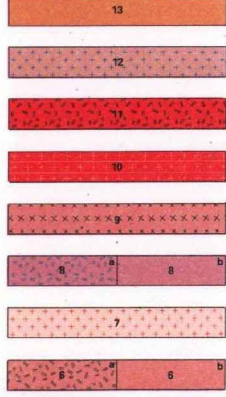
AFILORAMIENTO DEL MOLINO DE LA HOZ



ROCAS ÍGNEAS PREHERCÍNICAS



ROCAS GRANÍTICAS HERCÍNICAS



ROCAS FILONIANAS



Delimitación del sector

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Javier Marcos Pizarro

Escuela Politécnica Superior de Ávila

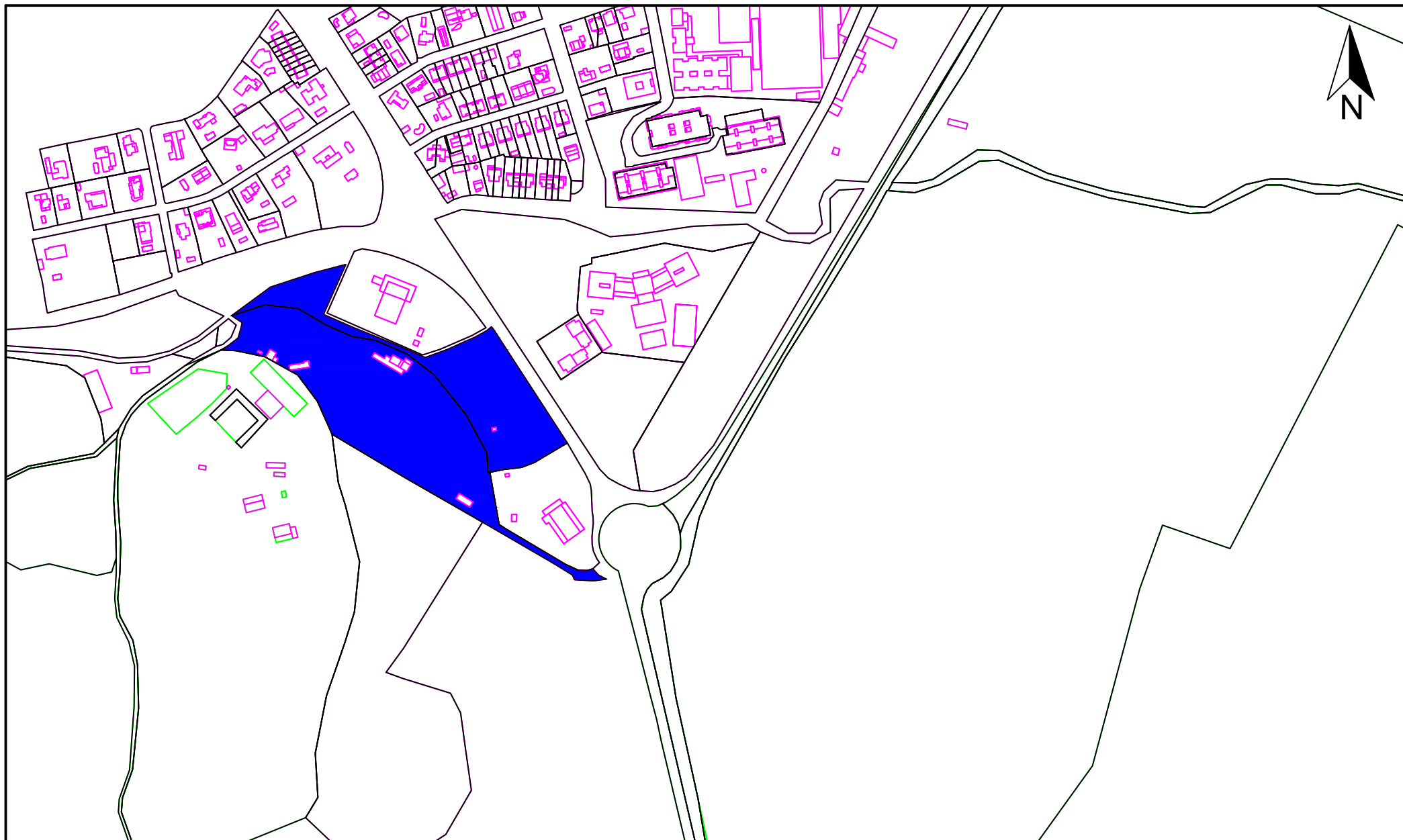
Ingeniería Civil

Plano Geológico

uds.= m

ESCALA: 1:10.000





Suelo Urbano Consolidado

\*Ver Anejo I: Características de parcelas

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Javier Marcos Pizarro

Escuela Politécnica Superior de Ávila

Ingeniería Civil

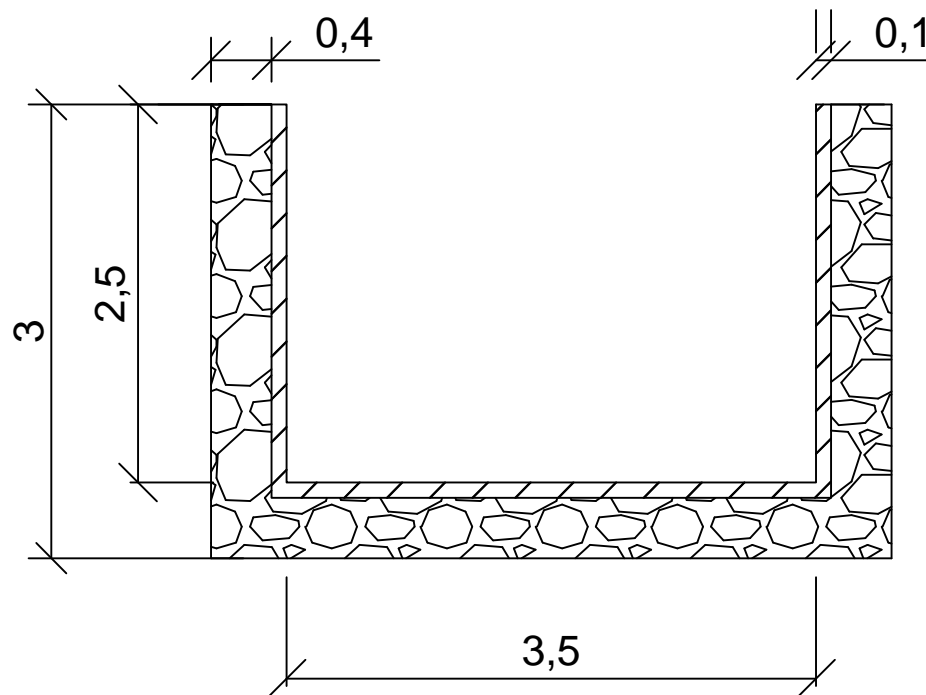
Plano Catastral

uds.= m

ESCALA: 1:5.000







### Características Hidráulicas

$$J=0.017 \quad Q=74.13\text{m}^3/\text{s}$$

$$n=0.014$$

$$A_m=3.5*y$$

$$P_m= 3.5+2*y$$

$$R_h= (3.5*y)/(3.5+2*y)$$



Revestimiento de Hormigón



Encachado

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Javier Marcos Pizarro

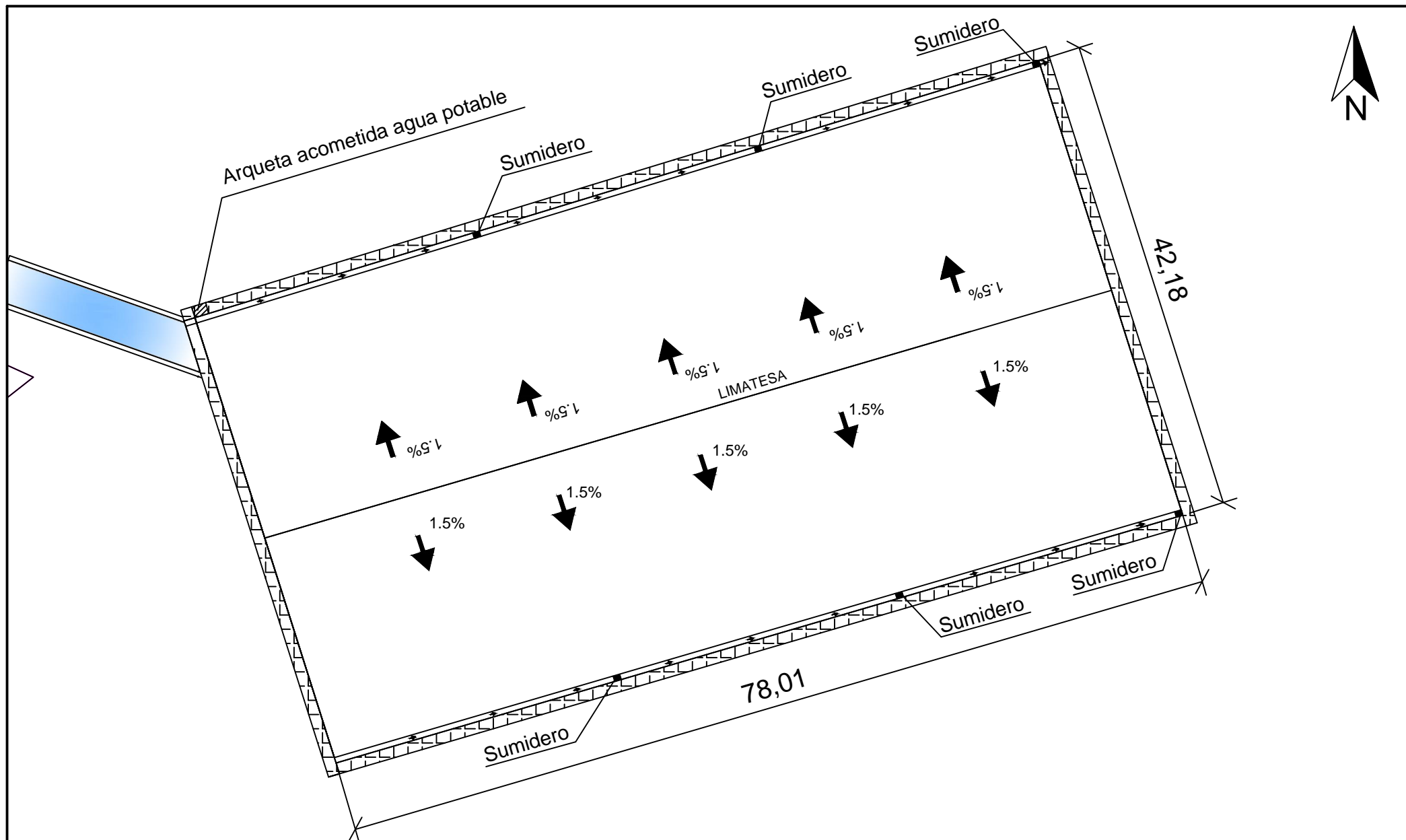
Escuela Politécnica Superior de Ávila

Ingeniería Civil

Sección transversal del canal uds.= m

ESCALA: 1:50





Trabajo Fin de Grado

Alumno: Javier Marcos Pizarro

Escuela Politécnica Superior de Ávila

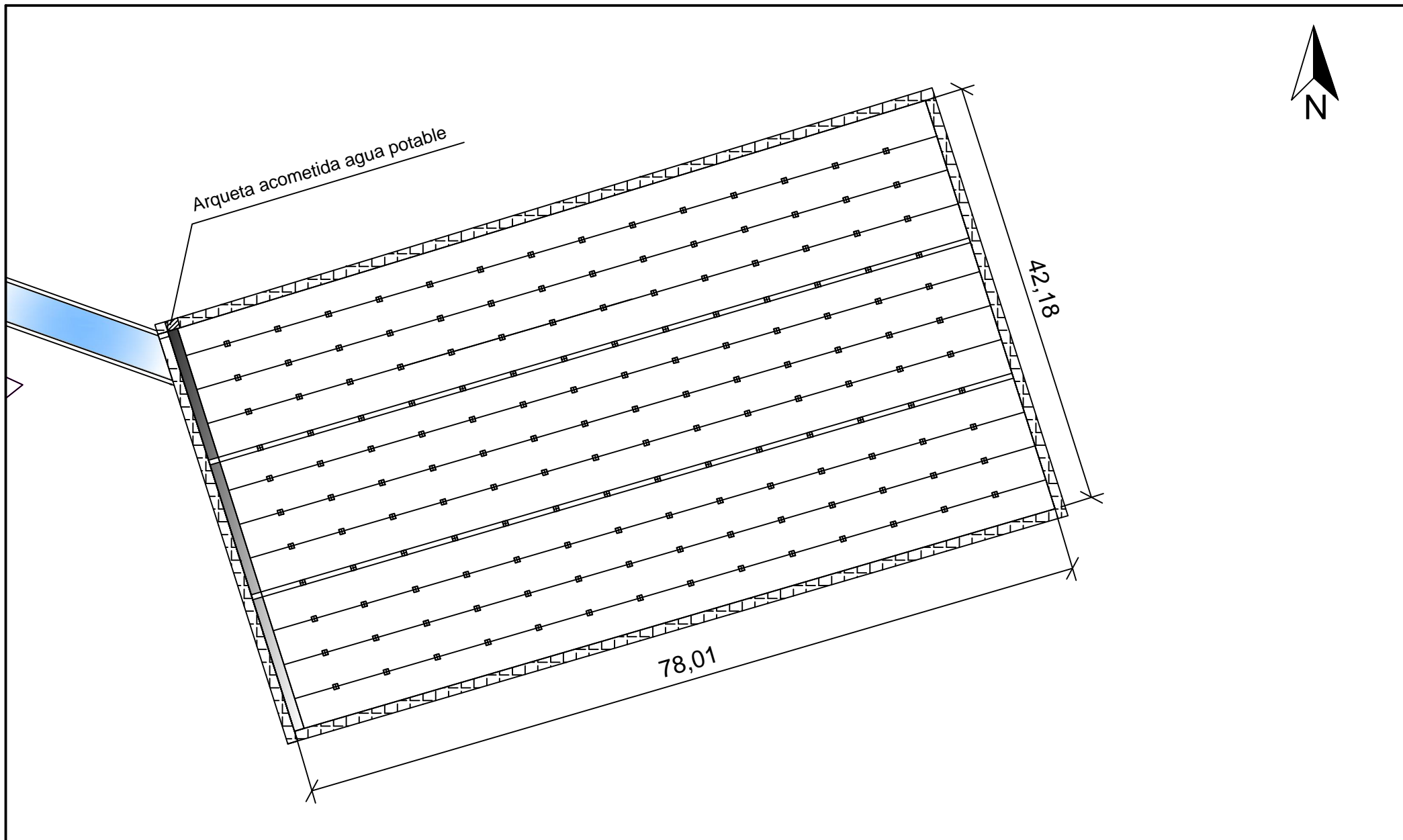
Ingeniería Civil

Planta de Cubierta



uds.= m

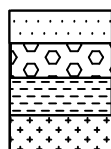
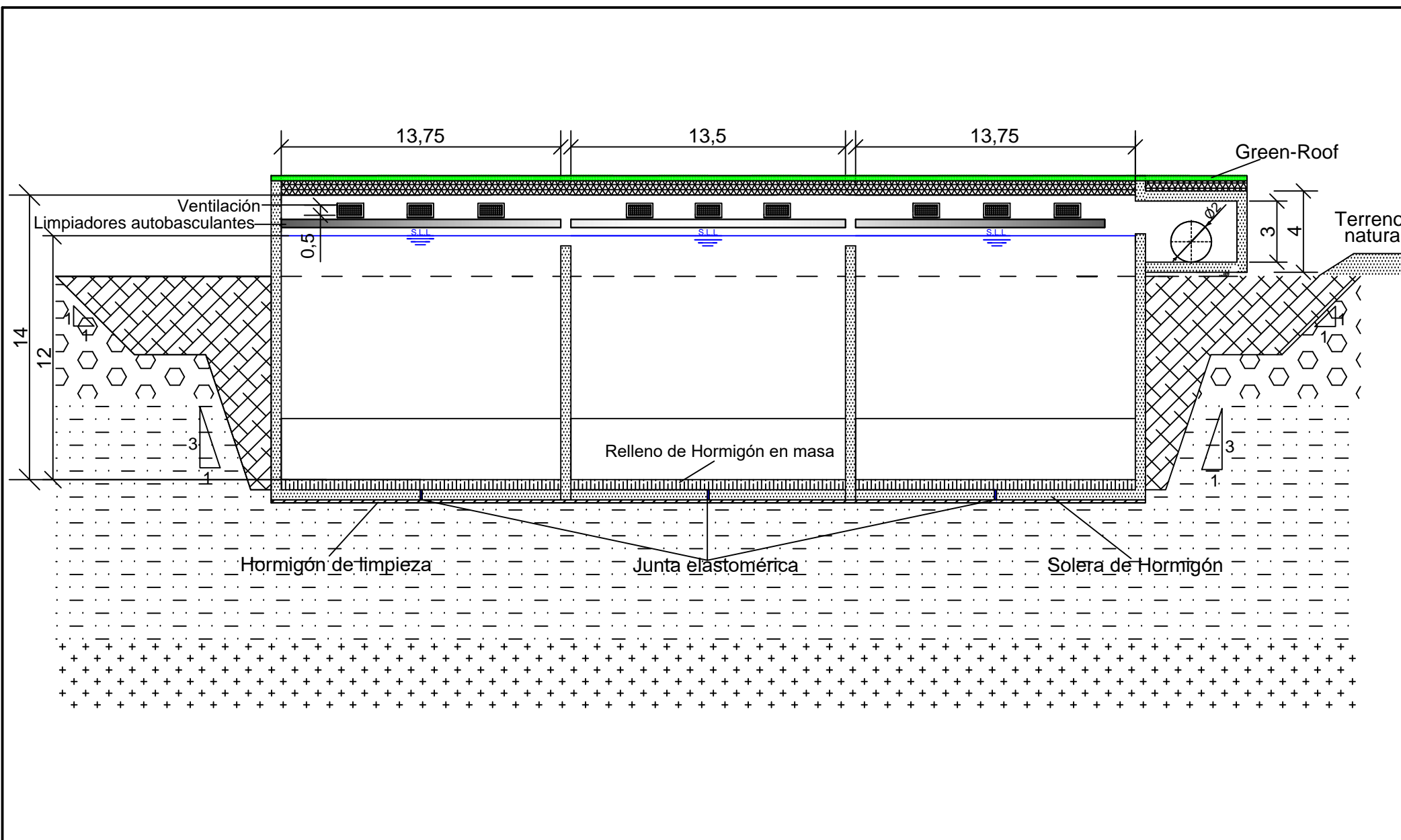
ESCALA: 1:450





	Trabajo Fin de Grado		Alumno: Javier Marcos Pizarro	
	Escuela Politécnica Superior de Ávila		Ingeniería Civil	
	Sección Planta		uds.= m	ESCALA: 1:500



Tierra vegetal  
Suelo residual  
Jabre  
Granito

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Javier Marcos Pizarro

Escuela Politécnica Superior de Ávila

Ingeniería Civil

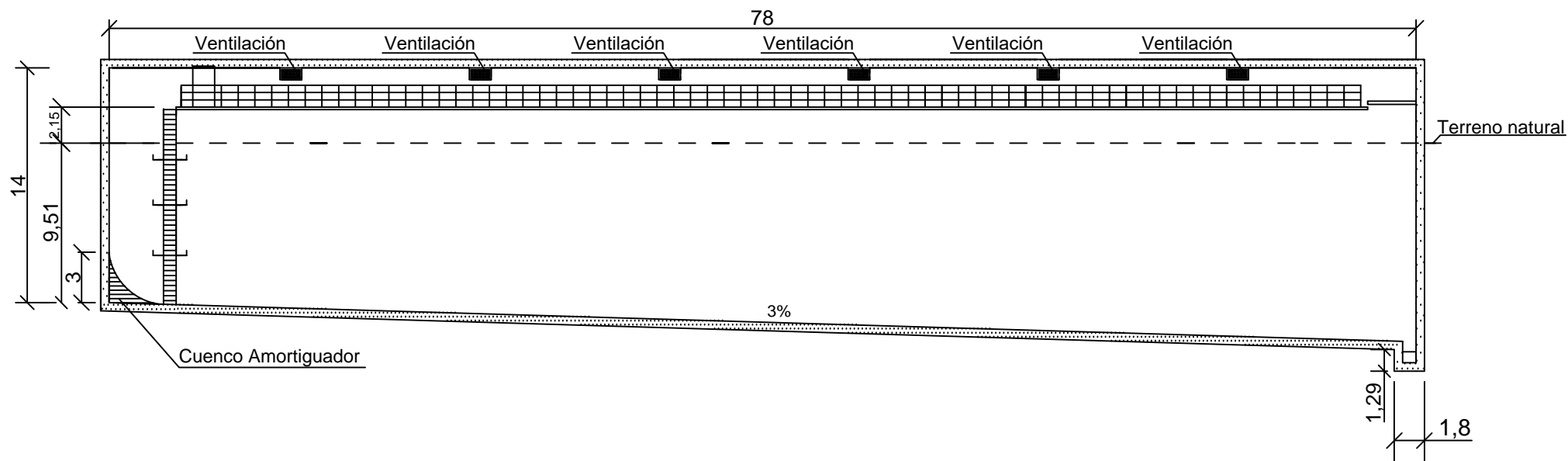
Sección transversal

uds.= m

ESCALA: 1:250







Trabajo Fin de Grado

Alumno: Javier Marcos Pizarro

Escuela Politécnica Superior de Ávila

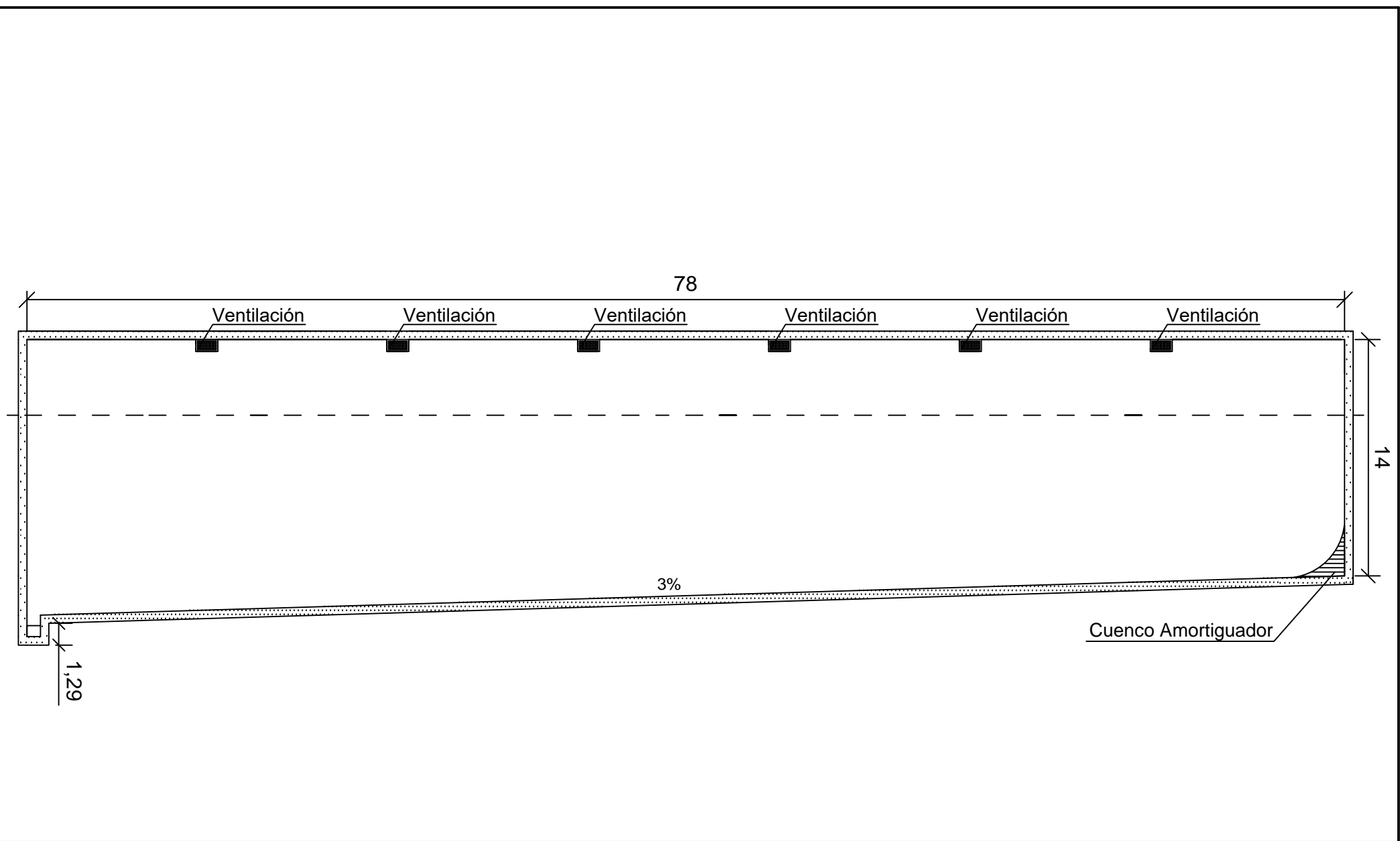
Ingeniería Civil


Sección longitudinal cara norte

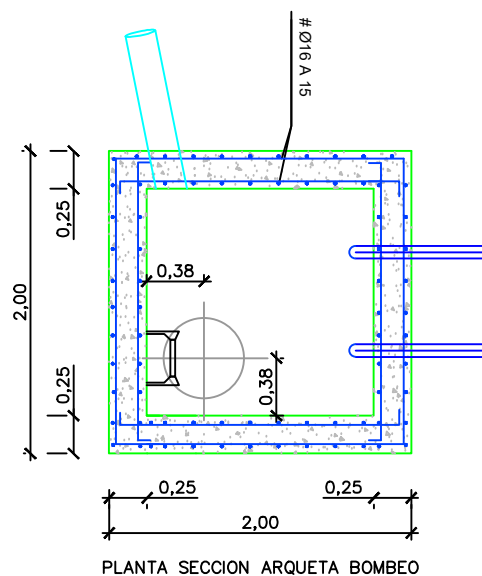
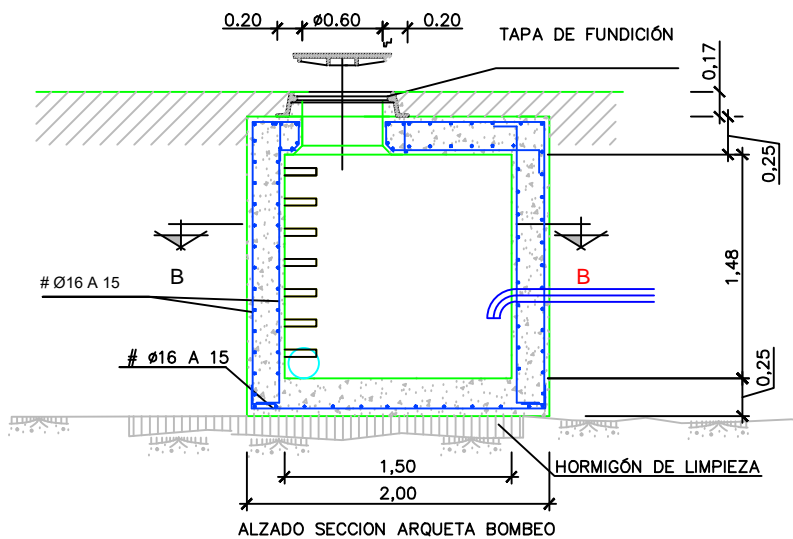
uds.= m

ESCALA: 1:350





	Trabajo Fin de Grado		Alumno: Javier Marcos Pizarro		
	Escuela Politécnica Superior de Ávila			Ingeniería Civil	
	Sección longitudinal cara sur		uds.= m	ESCALA: 1:300	



NOTAS:

- SI UNA VEZ DESENCOFRADO EXISTIERAN HUECOS O COQUERAS, EN EL HORMIGÓN O EN LA UNIÓN CON LOS TUBOS, SE RELLENERÁN CON MORTERO CON ADICIÓN DE IMPERMEABILIZANTE.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

ELEMENTO	MATERIALES						EJECUCIÓN	
	HORMIGÓN			ACERO				
	TIPO	CONTROL	ξ c	TIPO	CONTROL	ξ s	CONTROL	ξ f
TODOS	HA-25/B/20/II a	NORMAL	1,50	B 500 S	NORMAL	1,15	NORMAL	1,60

- EL RECUBRIMIENTO MÍNIMO DE ARMADURAS SERÁ DE 4.5 cm.
- ADITIVO: PLASTIFICANTE EN POLVO

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Javier Marcos Pizarro

Escuela Politécnica Superior de Ávila

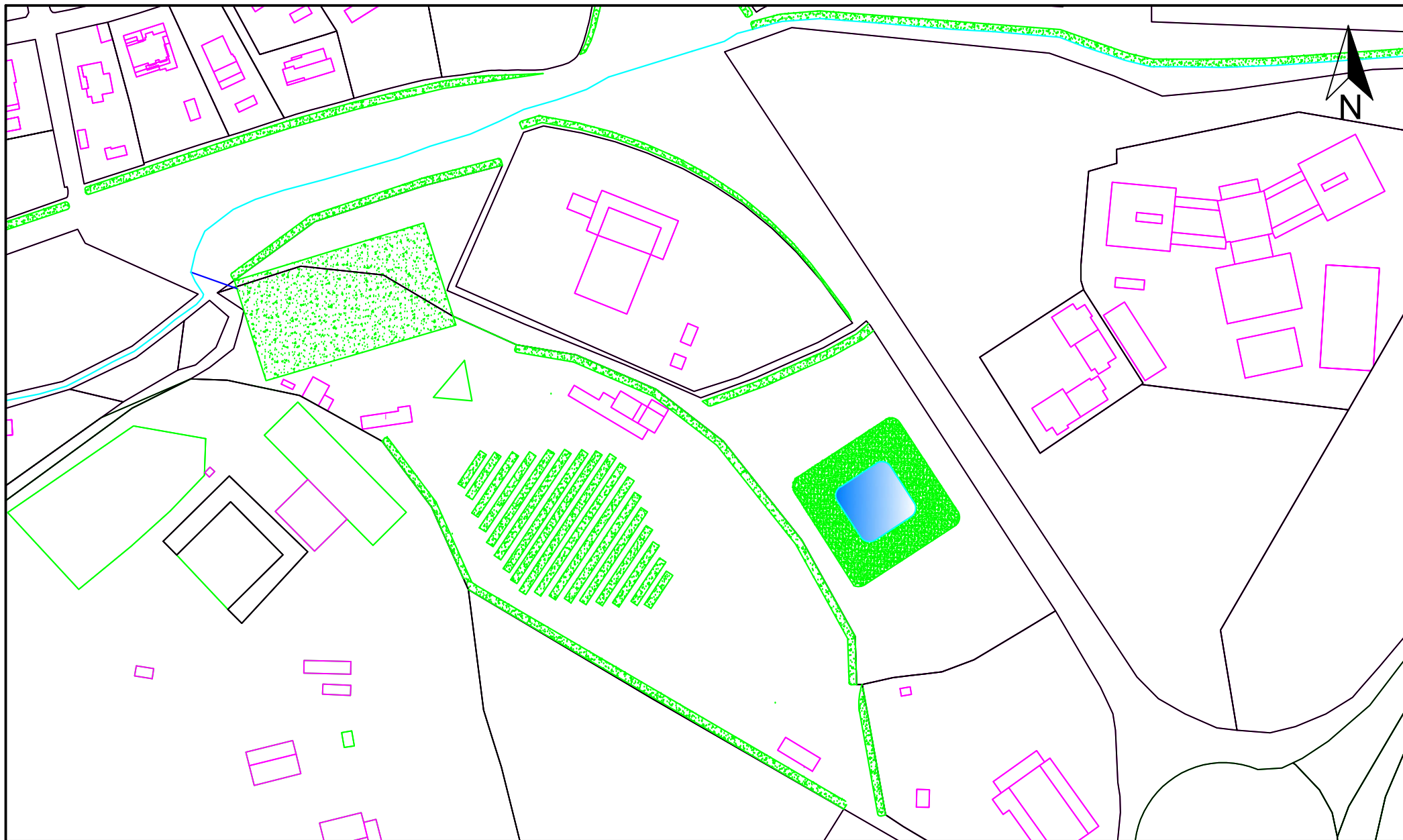
Ingeniería Civil




Arqueta de Bombeo Armado

uds.= m

ESCALA: 1:50





-  Green-Roof sobre Tanque
-  Franjas Filtrantes
-  Depósito de detención

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Javier Marcos Pizarro

Escuela Politécnica Superior de Ávila

Ingeniería Civil

Integración en un SDUS

uds.= m

ESCALA: 1:2.000





# ANEJO V: PRESUPUESTO

- MEDICIONES

- MEDICIÓN OBRA
- MEDICIÓN PERSONAL

- PRESUPUESTO

- RESUMEN DE PRESUPUESTO

- MEDICIONES



## -MEDICIÓN OBRA

CANAL	LARGO(m)	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	TOTAL MEDICIÓN
Despeje y desbroce del terreno	18	5	_____	90 m <sup>2</sup>
Excavación con medios mecánicos	18	4,5	3	243 m <sup>3</sup>
Compactación	18	4,5	_____	81m <sup>2</sup>
Perfilado de taludes	18	_____	2,5x2	90 m <sup>2</sup>
Encachado de piedra	18	4,5	3x2	189 m2
Canal de Hormigón	18	3,5	2,5	1u
Medidor de nivel	_____	_____	_____	1u
Compuerta automática mixta de nivel constante	_____	_____	_____	1u
TANQUE DE TORMENTAS	LARGO(m)	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	TOTAL MEDICIÓN
Despeje y desbroce del terreno	78	42	_____	3.276 m <sup>2</sup>
Excavación a cielo abierto entre pantallas	500	3	_____	1.500 m <sup>2</sup>
Gestión de residuos	50	50		2.500 m <sup>2</sup>
Pilotes	_____	_____	_____	154 u
Pilares	0,5	0,5	14 x 154	539 m <sup>3</sup>
Solera	78	42	0,6	1966 m <sup>2</sup>

Cerramiento lateral	78+78+42+42	1	14	3360 m <sup>3</sup>
Muros divisorios	78x2	0,5	12	936 m <sup>3</sup>
Cubierta	78	42	_____	3276 m <sup>2</sup>
Local técnico	7,92	2,45	_____	20 m <sup>2</sup>
Acometida agua potable	_____	_____	_____	1u
Compuertas	_____	_____	_____	2u
Rejas de desbaste	3,5	500mm/300mm	_____	1u
Válvulas	_____	_____	_____	4u
Arquetas	_____	_____	_____	2u
Sumideros	_____	_____	_____	3u
Bombas	_____	_____	_____	2u
Colectores	30	800 mm	_____	1u
Colectores	30	600 mm	_____	1u
Instalación eléctrica	_____	_____	_____	1u
Luminaria	_____	_____	_____	14u
Aliviadero	2	2	11,5	1u
Andamios	_____	_____	12	6u
Limpiador autobasculante	6	700mm	_____	7u
Medidor de nivel	_____	_____	_____	3u
Ventilación extractor helicoidal	_____	_____	_____	6u
Ventosas	_____	_____	_____	4u
<b>INTEGRACIÓN EN UN SDUS</b>	<b>LARGO(m)</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>TOTAL MEDICIÓN</b>
Green-Roof	78	42	_____	3.276 m <sup>2</sup>
Franjas Filtrantes	500	3	_____	1.500 m <sup>2</sup>

Depósito de Detención	50	50		2.500 m <sup>2</sup>
--------------------------	----	----	--	----------------------

Tabla 11: Mediciones.

**-MEDICIÓN PERSONAL**

El coste de personal (ingeniero y delineante) ha sido obtenido a partir del “XVII Convenio colectivo nacional de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos”, publicado en el Boletín Oficial del Estado (BOE).

Según el “Artículo 33: Tablas de niveles salariales” de dicho Convenio:

	Mes x 14(€)	Anual (€)
<b>Nivel 1. Licenciados y Titulados 2º y 3º ciclo universitario y Analista</b>	1673,63	23.430,82
<b>Nivel 5. Delineante, Técnico de 1ª, Oficial 1ª Admtvo. Y Operador de ordenador.</b>	960,55	13.447,70

Tabla 12 : Salarios según convenio.

Calculamos el coste en cada uno de los casos. El proyecto se ha realizado en 5 meses, de los cuales, el ingeniero ha realizado el estudio 384h (48 días laborables) y el delineante, el cual es el encargado de redactar la memoria y hacer los planos, 384 h (48 días laborables).

Nivel 1 (Ingeniero)=1673,63 €/mes → 1673,63€/mes x 2,4 meses = 4016,70€

Nivel 5 (Delineante)=960,55 €/mes → 960,55€/mes x 2,4 meses = 2305,30€

**MEDICIÓN PERSONAL**

<b>MANO DE OBRA INGENIERO (h)</b>	<b>384</b>
<b>MANO DE OBRA DELINEANTE (h)</b>	<b>384</b>

Tabla 13: Horas empleadas por el personal.

**●PRESUPUESTO**

## Presupuesto

Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
<b>A</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Tanque Tormentas</b>	<b>1</b>	<b>1,360,437.59</b>	<b>1,360,437.59</b>
T1	Partida	m2	Despeje y Desbroce del terreno	3,772.00	0.15	565.80
T2	Partida	m3	Excavación a cielo abierto entre pantallas	32,760.00	3.94	129,074.40
T3	Partida	m3	Gestión de Residuos	32,760.00	5.06	165,765.60
T4	Partida	m2	Solera	1,966.00	114.37	224,851.42
T5	Partida	m2	Cerramiento lateral	3,360.00	173.67	583,531.20
T6	Partida	m3	Pilares	539.00	93.41	50,347.99
T7	Partida	u	Bombas sumergible	2.00	6,928.83	13,857.66
T8	Partida	u	Medidor de nivel	3.00	2,409.18	7,227.54
T9	Partida	u	Válvulas	4.00	120.03	480.12
T10	Partida	u	Arquetas	2.00	355.81	711.62
T11	Partida	u	Sumidero	3.00	45.90	137.70
T12	Partida	u	Ventosa	4.00	60.94	243.76
T13	Partida	m	Coletores	60.00	245.90	14,754.00
T14	Partida	u	Instalación eléctrica	1.00	706.83	706.83
T15	Partida	u	Luminaria	14.00	101.85	1,425.90
T16	Partida	u	Aliviadero	1.00	1,419.09	1,419.09
T17	Partida	u	Limpiador autobasculante	7.00	527.50	3,692.50
T18	Partida	m2	Cubierta	3,276.00	12.36	40,491.36
T19	Partida	u	Acometida de agua potable	1.00	595.70	595.70
T20	Partida	u	Ventilación extractor helicoidal	6.00	83.66	501.96
T21	Partida	u	Compuertas	2.00	11,770.06	23,540.12
T22	Partida	u	Local Técnico	1.00	2,778.32	2,778.32
T23	Partida	m	Rejas de Desbaste	2.00	317.69	635.38
T24	Partida	m <sup>3</sup>	Muros divisorios	936.00	89.63	83,893.68
T25	Partida	m2	Andamios	6.00	87.57	525.42
T26	Partida	u	Pilotes	154.00	56.38	8,682.52
		<b>A</b>		<b>1</b>	<b>1,360,437.59</b>	<b>1,360,437.59</b>
<b>B</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Canal</b>	<b>1</b>	<b>23,541.37</b>	<b>23,541.37</b>
1	Partida	m2	Despeje y Desbroce del terreno	90.00	0.15	13.50
2	Partida	m3	Excavación con medios mecánicos, sin explosivos	243.00	1.55	376.65
3	Partida	m2	Compactación	81.00	6.84	554.04
4	Partida	m2	Perfilado de taludes	90.00	0.29	26.10
5	Partida	m <sup>2</sup>	Encachado de Piedra	189.00	23.16	4,377.24
6	Partida	u	Medidor de nivel	1.00	2,141.40	2,141.40
7	Partida	m	Canal de Hormigon	18.00	237.91	4,282.38
8	Partida	u	Compuerta automática mixta de nivel constante	1.00	11,770.06	11,770.06
		<b>B</b>		<b>1</b>	<b>23,541.37</b>	<b>23,541.37</b>
<b>C</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Integración en un SDUS</b>	<b>1</b>	<b>29,647.40</b>	<b>29,647.40</b>

9	Partida	m2	Green-Roof	3,276.00	6.15	20,147.40
10	Partida	m2	Franjas Filtrantes	1,500.00	0.30	450.00
11	Partida	m2	Depósito de detención	2,500.00	3.62	9,050.00
<b>C</b>				<b>1</b>	<b>29,647.40</b>	<b>29,647.40</b>
<b>D</b>	<b>Capítulo</b>	<b>Mano de obra</b>		<b>1</b>	<b>6,320.64</b>	<b>6,320.64</b>
12	Partida	h	Mano de obra Ingeniero	384.00	10.46	4,016.64
13	Partida	h	Mano de obra Delineante	384.00	6.00	2,304.00
<b>D</b>				<b>1</b>	<b>6,320.64</b>	<b>6,320.64</b>
<b>E</b>	<b>Capítulo</b>	<b>Seguridad y Salud</b>		<b>1</b>	<b>43,052.78</b>	<b>43,052.78</b>
<b>H1</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES INDIVIDUALES Y COLECTIVAS EN EL TRABAJO</b>		<b>1.00</b>	<b>13,528.70</b>	<b>13,528.70</b>
<b>H14</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES INDIVIDUALES</b>		<b>1.00</b>	<b>4,938.31</b>	<b>4,938.31</b>
<b>H141</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES DE LA CABEZA</b>		<b>1.00</b>	<b>821.85</b>	<b>821.85</b>
H1411111	Partida	u	Casco seguridad,p/uso normal,anti golpes,PE,p<=400g	20.00	5.93	118.60
H141211D	Partida	u	Casco seguridad,p/señalista,PE,p<=400g,mat.fotolum.	5.00	21.62	108.10
H1414119	Partida	u	Casco seguridad, PE,p<=400g,+pantalla facial+visor,acopl.arnés a	5.00	26.33	131.65
H141411B	Partida	u	Casco seguridad, PE,p<=400g,+protect.auditivos+pant.facial,acopl	10.00	46.35	463.50
<b>H141</b>				<b>1.00</b>	<b>821.85</b>	<b>821.85</b>
<b>H142</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES DEL APARATO OCULAR</b>		<b>1.00</b>	<b>206.10</b>	<b>206.10</b>
H1421110	Partida	u	Gafas antiimp.st.,montura univ.,visor transp.c/empañam.	30.00	5.99	179.70
H1426160	Partida	u	Gafas protec.riesgos mecánicos,montura univ.,visor malla rejilla	5.00	5.28	26.40
<b>H142</b>				<b>1.00</b>	<b>206.10</b>	<b>206.10</b>
<b>H143</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES DEL APARATO AUDITIVO</b>		<b>1.00</b>	<b>302.25</b>	<b>302.25</b>
H1431101	Partida	u	Protector auditivo tapón espuma	15.00	0.23	3.45
H1433115	Partida	u	Protector tipo orejera,acoplable casco seguridad	20.00	14.94	298.80
<b>H143</b>				<b>1.00</b>	<b>302.25</b>	<b>302.25</b>
<b>H144</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES DEL APARATO RESPIRATORIO</b>		<b>1.00</b>	<b>294.25</b>	<b>294.25</b>
H1441201	Partida	u	Mascarilla autofiltrante c/polv.+vap.tóx.	35.00	0.77	26.95
H1442012	Partida	u	Respirador 2aloj.p/filt.,caucho nat.,4puntos fij.	10.00	14.73	147.30
H1447005	Partida	u	Máscara,protección respiratoria	10.00	12.00	120.00
<b>H144</b>				<b>1.00</b>	<b>294.25</b>	<b>294.25</b>
<b>H145</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES</b>		<b>1.00</b>	<b>272.01</b>	<b>272.01</b>
H1452210	Partida	u	Guantes tacto,piel flexible,suj.muñeca	20.00	1.27	25.40
H1459630	Partida	u	Guantes p/soldador,piel,manga larga dril	5.00	6.77	33.85



H145C002	Partida	u	Guantes protección c/riesgos mecánicos nivel 3	7.00	6.05	42.35
H145K153	Partida	u	Guantes material aisl.,p/trabajos eléctricos,cl.00,logotipo beig	5.00	21.20	106.00
H145PK05	Partida	u	Guantes aluminizados,prot.calor radiante/cont.,kevlar	3.00	21.47	64.41
<b>H145</b>				1.00	<b>272.01</b>	<b>272.01</b>
<b>H146</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES DE LAS EXTREMIDADES INFERIORES</b>		<b>1.00</b>	<b>464.90</b>	<b>464.90</b>
H1461110	Partida	u	Par botas agua,PVC,caña alta+suela antideslizante	5.00	5.54	27.70
H1461130	Partida	u	Par botas agua,PVC,tipo ingeniero	5.00	9.14	45.70
H1462241	Partida	u	Par botas seguridad,resist.humed.,piel rectif.,suela antidesl.an	30.00	13.05	391.50
<b>H146</b>				1.00	<b>464.90</b>	<b>464.90</b>
<b>H147</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES DEL CUERPO</b>		<b>1.00</b>	<b>2,039.25</b>	<b>2,039.25</b>
H1471101	Partida	u	Cinturón suj.,cl.A,poliést.herr.estamp.cuerd.seg.	10.00	49.67	496.70
H147D102	Partida	u	Sistema anticaída con arnés anticaída+tirantes,incorp.terminal m	10.00	54.59	545.90
H147M007	Partida	u	Arnés asiento solidario eq.prot.individ.caídas alt.	10.00	92.00	920.00
H147RA00	Partida	m	Cuerda poliam.alta tenac.,D=16mm,p/sirga cint.	15.00	5.11	76.65
<b>H147</b>				1.00	<b>2,039.25</b>	<b>2,039.25</b>
<b>H148</b>	<b>Capítulo</b>	<b>ROPA DE TRABAJO</b>		<b>1.00</b>	<b>537.70</b>	<b>537.70</b>
H1481131	Partida	u	Mono trabajo,poliést./algod.,bols.ext.	20.00	12.08	241.60
H1481242	Partida	u	Mono trab.p/constr.,poliést./algod.(65%-35%),beige,trama 240,bol	15.00	19.74	296.10
<b>H148</b>				1.00	<b>537.70</b>	<b>537.70</b>
<b>H14</b>				1.00	<b>4,938.31</b>	<b>4,938.31</b>
<b>H15</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES COLECTIVAS</b>		<b>1.00</b>	<b>6,372.22</b>	<b>6,372.22</b>
<b>H151</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES SUPERFICIALES CONTRA CAÍDAS DE PERSONAS Y OBJETOS</b>		<b>1.00</b>	<b>675.70</b>	<b>675.70</b>
H1510001	Partida	m2	Protección horizontal bajo encofrado forj.red hilo trenzado	50.00	0.96	48.00
H1511001	Partida	m2	Protec.+red segur. horiz. abert.lat.paso elevado,desm. incluido	50.00	5.12	256.00
H1512005	Partida	m2	Protección colectiva vert. andamios tub./montacar.,+malla polipr	50.00	3.81	190.50
H1512007	Partida	m	Protección colectiva vert.,perím.fachad.,c/caíd.pers./objet.,sop	15.00	12.08	181.20
<b>H151</b>				1.00	<b>675.70</b>	<b>675.70</b>
<b>H152</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES LINEALES CONTRA CAÍDAS DE PERSONAS Y OBJETOS</b>		<b>1.00</b>	<b>327.20</b>	<b>327.20</b>
H1521431	Partida	m	Barandilla prot.p/esca.,h=1m,travesaño madera,fij.soportes monta	20.00	5.00	100.00
H1524351	Partida	m	Cerca perím.forj. red,fij.+plet.p/fij.forj.,desm.	20.00	3.81	76.20
H15275A1	Partida	m	Plataforma a=1m,base+zóc.plancha ac.,h=1m,desm.	20.00	7.55	151.00

<b>H152</b>				1.00	<b>327.20</b>	<b>327.20</b>
<b>H154</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PROTECCIONES DE ZONAS DE TRABAJO</b>		<b>1.00</b>	<b>863.30</b>	<b>863.30</b>
H1549002	Partida	m	Pantalla de prot.p/trabajos expuest.viento,h=2,5m de plancha ner	10.00	86.33	863.30
<b>H154</b>				1.00	<b>863.30</b>	<b>863.30</b>
<b>H15A</b>	<b>Capítulo</b>	<b>ELEMENTOS DE PREVENCIÓN PARA USO DE MAQUINARIA</b>		<b>1.00</b>	<b>1,311.17</b>	<b>1,311.17</b>
H15A0003	Partida	u	Señal acústica marcha atrás	5.00	44.95	224.75
H15A2007	Partida	m	Cable guia mat.susp	10.00	1.16	11.60
H15A2017	Partida	u	Extract.gas contam. trab.sold.,vel.captura=0,5-1m/s,col.	2.00	384.11	768.22
H15A2020	Partida	u	Cinturón portaherr.	15.00	20.44	306.60
<b>H15A</b>				1.00	<b>1,311.17</b>	<b>1,311.17</b>
<b>H15B</b>	<b>Capítulo</b>	<b>ELEMENTOS DE PREVENCIÓN EN LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>		<b>1.00</b>	<b>3,194.85</b>	<b>3,194.85</b>
H15B0007	Partida	u	Pantalla aisl.p/trab.zon.infl.lín.eléc.	5.00	95.90	479.50
H15B1001	Partida	u	Plataforma aisl.,base p/trab.cuad.eléct.dist.,100x100cm,e=3mm	5.00	40.85	204.25
H15B3003	Partida	u	Escalera port.dielé.,FV,long.=3,2m	10.00	231.77	2,317.70
H15B6006	Partida	u	Aisl.caucho p/conduc.lín.eléc.,long.=3m	10.00	19.34	193.40
<b>H15B</b>				1.00	<b>3,194.85</b>	<b>3,194.85</b>
<b>H15</b>				1.00	<b>6,372.22</b>	<b>6,372.22</b>
<b>H16</b>	<b>Capítulo</b>	<b>MEDIDAS PREVENTIVAS</b>		<b>1.00</b>	<b>2,218.17</b>	<b>2,218.17</b>
<b>H16C</b>	<b>Capítulo</b>	<b>EQUIPOS DE MEDIDA Y DETECCIÓN</b>		<b>1.00</b>	<b>1,755.12</b>	<b>1,755.12</b>
H16C1002	Partida	u	Detector gases fijo+desm.	2.00	635.74	1,271.48
H16C4006	Partida	u	Sonómetro portát.,rango dinám.23-130dba(rms)	2.00	110.20	220.40
H16C5007	Partida	u	Luxómetro portát.	2.00	104.40	208.80
H16C8010	Partida	u	Termómetro/barómetro	2.00	27.22	54.44
<b>H16C</b>				1.00	<b>1,755.12</b>	<b>1,755.12</b>
<b>H16F</b>	<b>Capítulo</b>	<b>CONTROL DE LA SEGURIDAD EN LA OBRA Y FORMACIÓN DEL PERSONAL</b>		<b>1.00</b>	<b>463.05</b>	<b>463.05</b>
H16F1004	Partida	h	Formación Seg.Salud	35.00	13.23	463.05
<b>H16F</b>				1.00	<b>463.05</b>	<b>463.05</b>
<b>H16</b>				1.00	<b>2,218.17</b>	<b>2,218.17</b>
<b>H1</b>				1.00	<b>13,528.70</b>	<b>13,528.70</b>
<b>H6</b>	<b>Capítulo</b>	<b>CERRAMIENTOS Y DIVISORIAS</b>		<b>1.00</b>	<b>1,330.34</b>	<b>1,330.34</b>
H64Z1111	Partida	u	Puerta plancha acero galv.ancho=1m,h=2m,marco tubo ac.galv.,p/va	4.00	94.31	377.24
H6452131	Partida	m	Valla h=2m,plancha acero galv.+postes/3m,dados horm.,desmont.	30.00	31.77	953.10
<b>H6</b>				1.00	<b>1,330.34</b>	<b>1,330.34</b>

<b>HB</b>	<b>Capítulo</b>	<b>SEÑALIZACIÓN PROVISIONAL</b>	<b>1.00</b>	<b>16,093.25</b>	<b>16,093.25</b>
<b>HB2</b>	<b>Capítulo</b>	<b>BARRERAS DE SEGURIDAD</b>	<b>1.00</b>	<b>2,829.00</b>	<b>2,829.00</b>
<b>HB2C</b>	<b>Capítulo</b>	<b>ELEMENTOS LONGITUDINALES RÍGIDOS PARA BARRERAS DE SEGURIDAD</b>	<b>1.00</b>	<b>2,829.00</b>	<b>2,829.00</b>
HB2C1000	Partida	m Barrera campan.,c.redondeadas,New Jersey,pref.	75.00	37.72	2,829.00
		<b>HB2C</b>	<b>1.00</b>	<b>2,829.00</b>	<b>2,829.00</b>
		<b>HB2</b>	<b>1.00</b>	<b>2,829.00</b>	<b>2,829.00</b>
<b>HBA</b>	<b>Capítulo</b>	<b>SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL</b>	<b>1.00</b>	<b>1,635.75</b>	<b>1,635.75</b>
<b>HBA1</b>	<b>Capítulo</b>	<b>MARCAS LONGITUDINALES</b>	<b>1.00</b>	<b>95.20</b>	<b>95.20</b>
HBA12C12	Partida	m Pintado banda continua 15cm,reflectante,máquina	85.00	1.12	95.20
		<b>HBA1</b>	<b>1.00</b>	<b>95.20</b>	<b>95.20</b>
<b>HBA2</b>	<b>Capítulo</b>	<b>MARCAS TRANSVERSALES</b>	<b>1.00</b>	<b>84.50</b>	<b>84.50</b>
HBA21811	Partida	m Pintado banda transv.discontinua 40cm 0,8/0,4,reflectante,máquin	50.00	1.69	84.50
		<b>HBA2</b>	<b>1.00</b>	<b>84.50</b>	<b>84.50</b>
<b>HBA3</b>	<b>Capítulo</b>	<b>MARCAS SUPERFICIALES</b>	<b>1.00</b>	<b>1,456.05</b>	<b>1,456.05</b>
HBA31011	Partida	m2 Pintado bandas superficiales,reflectante,máq.accionamiento manua	85.00	17.13	1,456.05
		<b>HBA3</b>	<b>1.00</b>	<b>1,456.05</b>	<b>1,456.05</b>
		<b>HBA</b>	<b>1.00</b>	<b>1,635.75</b>	<b>1,635.75</b>
<b>HBB</b>	<b>Capítulo</b>	<b>SEÑALIZACIÓN VERTICAL</b>	<b>1.00</b>	<b>5,455.80</b>	<b>5,455.80</b>
<b>HBB1</b>	<b>Capítulo</b>	<b>SEÑALES DE PELIGRO, PRECEPTIVAS Y DE REGULACIÓN</b>	<b>1.00</b>	<b>270.42</b>	<b>270.42</b>
HBB11111	Partida	u Placa pintura reflectante triangular lado=70cm,fij.mec.+desmont.	6.00	45.07	270.42
		<b>HBB1</b>	<b>1.00</b>	<b>270.42</b>	<b>270.42</b>
<b>HBBA</b>	<b>Capítulo</b>	<b>SEÑALES DE SEGURIDAD LABORAL</b>	<b>1.00</b>	<b>160.08</b>	<b>160.08</b>
HBBA005	Partida	u Señal indicativa ubicación ext.inc.,normaliz.,pictogr.blanco s/r	4.00	21.27	85.08
HBBA017	Partida	u Señal indicativa info.socorro,normaliz.,pictogr.blanco s/verde,f	4.00	18.75	75.00
		<b>HBBA</b>	<b>1.00</b>	<b>160.08</b>	<b>160.08</b>
<b>HBBJ</b>	<b>Capítulo</b>	<b>SEMÁFOROS PROVISIONALES</b>	<b>1.00</b>	<b>5,025.30</b>	<b>5,025.30</b>
HBBJ1002	Partida	u Semáforos autónomos portátiles batería,instal.+desmont.	2.00	2,512.65	5,025.30
		<b>HBBJ</b>	<b>1.00</b>	<b>5,025.30</b>	<b>5,025.30</b>
		<b>HBB</b>	<b>1.00</b>	<b>5,455.80</b>	<b>5,455.80</b>
<b>HBC</b>	<b>Capítulo</b>	<b>BALIZAMIENTO</b>	<b>1.00</b>	<b>6,172.70</b>	<b>6,172.70</b>
<b>HBC1</b>	<b>Capítulo</b>	<b>BALIZAMIENTO</b>	<b>1.00</b>	<b>6,172.70</b>	<b>6,172.70</b>
HBC12300	Partida	u Cono de plástico reflector h=50cm	20.00	10.15	203.00

HBC18632	Partida	u	Pieza reflectora 2caras 40cm,pica,clavada	20.00	8.07	161.40
HBC19081	Partida	m	Cinta balizamiento,soporte/5m,desmontaje inclu.	80.00	1.12	89.60
HBC1GFJ1	Partida	u	Luminaria lámpara intermitente ámbar,bat.12V,desmont.inclu.	10.00	37.36	373.60
HBC1KJ00	Partida	m	Valla móvil metál.,long.=2,5m,h=1m,desm.	50.00	6.01	300.50
HBC1MPP1	Partida	m	Barrera PVC inyectado 0,7x1m,lastre,machihembrado,desmontaje	50.00	67.12	3,356.00
HBC1S0K0	Partida	u	Linterna tráfico+difusor,recargable	10.00	168.86	1,688.60
			<b>HBC1</b>	1.00	<b>6,172.70</b>	<b>6,172.70</b>
<b>HBC</b>				1.00	<b>6,172.70</b>	<b>6,172.70</b>
<b>HB</b>				1.00	<b>16,093.25</b>	<b>16,093.25</b>
<b>HG</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>	1.00	<b>352.30</b>	<b>352.30</b>
<b>HG4</b>	<b>Capítulo</b>		<b>APARATOS DE PROTECCIÓN</b>	1.00	<b>142.06</b>	<b>142.06</b>
<b>HG42</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INTERRUPTORES DIFERENCIALES</b>	1.00	<b>142.06</b>	<b>142.06</b>
HG42429D	Partida	u	Interruptor dif.cl.AC,gam.terc.,I=25A,bipol.(2P),0,03A,fij.inst.	2.00	71.03	142.06
			<b>HG42</b>	1.00	<b>142.06</b>	<b>142.06</b>
<b>HG4</b>				1.00	<b>142.06</b>	<b>142.06</b>
<b>HGD</b>	<b>Capítulo</b>		<b>ELEMENTOS DE TOMA DE TIERRA Y PROTECCIÓN CATÓDICA</b>	1.00	<b>44.70</b>	<b>44.70</b>
<b>HGD1</b>	<b>Capítulo</b>		<b>PICAS DE TOMA DE TIERRA</b>	1.00	<b>44.70</b>	<b>44.70</b>
HGD1222E	Partida	u	Pica toma tierra acero, 300µm,long.=1500 mm,D=14,6mm,clav.,desm.	2.00	22.35	44.70
			<b>HGD1</b>	1.00	<b>44.70</b>	<b>44.70</b>
<b>HGD</b>				1.00	<b>44.70</b>	<b>44.70</b>
<b>HGG</b>	<b>Capítulo</b>		<b>TRANSFORMADORES DE SEGURIDAD</b>	1.00	<b>165.54</b>	<b>165.54</b>
<b>HGG5</b>	<b>Capítulo</b>		<b>TRANSFORMADORES DE SEGURIDAD</b>	1.00	<b>165.54</b>	<b>165.54</b>
HGG54001	Partida	u	Transformador de seguridad 24V,col.+desmont.incluído	2.00	82.77	165.54
			<b>HGG5</b>	1.00	<b>165.54</b>	<b>165.54</b>
<b>HGG</b>				1.00	<b>165.54</b>	<b>165.54</b>
<b>HG</b>				1.00	<b>352.30</b>	<b>352.30</b>
<b>HJ</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACIONES DE FONTANERÍA Y APARATOS SANITARIOS</b>	1.00	<b>505.32</b>	<b>505.32</b>
<b>HJ7</b>	<b>Capítulo</b>		<b>DEPÓSITOS Y ACCESORIOS, PARA AGUA</b>	1.00	<b>505.32</b>	<b>505.32</b>
<b>HJ71</b>	<b>Capítulo</b>		<b>DEPÓSITOS PARA AGUA</b>	1.00	<b>505.32</b>	<b>505.32</b>
HJ7127D1	Partida	u	Depósito prismá.+ tapa,poliést.reforz.,500l,instal.+desmon.	4.00	126.33	505.32
			<b>HJ71</b>	1.00	<b>505.32</b>	<b>505.32</b>
<b>HJ7</b>				1.00	<b>505.32</b>	<b>505.32</b>

<b>HJ</b>				<b>1.00</b>	<b>505.32</b>	<b>505.32</b>
<b>HM</b>	<b>Capítulo</b>	<b>INSTALACIONES CONTRA INCENDIOS Y DE SEGURIDAD</b>		<b>1.00</b>	<b>430.00</b>	<b>430.00</b>
HM31161J	Partida	u	Extintor polvo seco,6kg,presión incorpo.pintado,soporte/desmont.	10.00	43.00	430.00
			<b>HM</b>	<b>1.00</b>	<b>430.00</b>	<b>430.00</b>
<b>HQ</b>	<b>Capítulo</b>	<b>EQUIPAMIENTOS</b>		<b>1.00</b>	<b>10,812.87</b>	<b>10,812.87</b>
<b>HQU</b>	<b>Capítulo</b>	<b>EQUIPAMIENTOS PARA PERSONAL DE OBRA</b>		<b>1.00</b>	<b>10,812.87</b>	<b>10,812.87</b>
<b>HQUA</b>	<b>Capítulo</b>	<b>EQUIPAMIENTO MÉDICO</b>		<b>1.00</b>	<b>10,495.35</b>	<b>10,495.35</b>
HQUA1100	Partida	u	Botiquín armario+contenido según orden.SyS	2.00	114.00	228.00
HQUAAAA0	Partida	u	Camilla metálica rígida+base lona,p/salvam.	10.00	191.73	1,917.30
HQUACCJ0	Partida	u	Manta algodón+fibra sint.,110x210cm	10.00	20.45	204.50
HQUAM000	Partida	u	Reconocimiento med.	35.00	34.63	1,212.05
HQUAP000	Partida	u	Curs.prim.aux+socorr	35.00	198.10	6,933.50
			<b>HQUA</b>	<b>1.00</b>	<b>10,495.35</b>	<b>10,495.35</b>
<b>HQUZ</b>	<b>Capítulo</b>	<b>ELEMENTOS AUXILIARES PARA EQUIPAMIENTOS DE PERSONAL DE OBRA</b>		<b>1.00</b>	<b>317.52</b>	<b>317.52</b>
HQUZM000	Partida	h	Mano obra,limpieza+conservación instalaciones	24.00	13.23	317.52
			<b>HQUZ</b>	<b>1.00</b>	<b>317.52</b>	<b>317.52</b>
<b>HQU</b>				<b>1.00</b>	<b>10,812.87</b>	<b>10,812.87</b>
<b>HQ</b>				<b>1.00</b>	<b>10,812.87</b>	<b>10,812.87</b>
<b>E</b>				<b>1</b>	<b>43,052.78</b>	<b>43,052.78</b>
<b>PRESUPUESTO</b>				<b>1</b>	<b>1,462,999.78</b>	<b>1,462,999.78</b>

## -RESUMEN DE PRESUPUESTO



## RESUMEN DE PRESUPUESTO

### Pesupuesto

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
A	Tanque Tormentas.....	1,360,437.59	92.99
B	Canal.....	23,541.37	1.61
C	Integración en un SDUS.....	29,647.40	2.03
D	Mano de obra.....	6,320.64	0.43
E	Seguridad y Salud.....	43,052.78	2.94
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		1,462,999.78	
13.00% Gastos generales.....		190,189.97	
6.00% Beneficio industrial.....		87,779.99	
SUMA DE G.G. y B.I.		277,969.96	
21.00% I.V.A. .Sobre el (PEM + GG + BI) .....		365,603.65	
TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA		2,106,573.39	
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		2,106,573.39	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de DOS MILLONES CIENTO SEIS MIL QUINIENTOS SETENTA Y TRES EUROS con TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS

El Escorial, a 14 de septiembre de 2018.

LA PROPIEDAD

LA DIRECCION FACULTATIVA



# ANEJO VI: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

El objetivo del presente anejo es determinar las directrices básicas a la empresa contratista para que cumpla con sus obligaciones en cuanto a la prevención de riesgos laborales.

Es por ello que se abordan todos los riesgos que puede entrañar el proceso constructivo de la obra relativa a este proyecto, con el fin de adoptar las correspondientes medidas de prevención destinadas a evitar riesgos, así como las medidas de seguridad a adoptar, de forma que produciéndose el accidente la lesión sea mínima.

Considerándose las susceptibles enfermedades profesionales que puedan ocasionarse durante la ejecución de la obra, así como las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores.

El estudio de seguridad y salud es indispensable ya que la obra principal es un tanque de tormentas y al ser ésta una infraestructura subterránea encargada de la evacuación de aguas, es un entorno con constante riesgo biológico y con gran número de operaciones desarrolladas en espacios confinados, en los que, es habitual la presencia de gases tóxicos o la posibilidad de inundación.

Objetivos de presente estudio de seguridad y salud:

- Garantizar la salud e integridad física de los trabajadores.
- Evitar acciones o situaciones peligrosas por improvisación, o por insuficiencia o falta de medios.
- Delimitar y esclarecer atribuciones y responsabilidades en materia de seguridad y salud de las personas que intervienen en el proceso constructivo.
- Determinar los costes de las medidas de protección y prevención.
- Referir la clase de medidas de protección a emplear en función del riesgo.
- Detectar a tiempo los riesgos que se derivan de la ejecución de la obra.
- Aplicar las técnicas de ejecución que reduzcan al máximo estos riesgos.

En cuanto al ámbito de aplicación del presente ESS será vinculante para todo el personal que realice su trabajo en el interior del recinto de la obra, a cargo tanto del contratista como de los subcontratistas, con independencia de las condiciones contractuales que regulen su intervención en la misma.

**Agentes intervinientes:** Entre los agentes que intervienen en materia de seguridad y salud en la obra objeto del presente estudio, se reseñan:

<b>Autor del Estudio de Seguridad y Salud</b>	<b>Javier Marcos Pizarro/Estudiante de Ingeniería Civil</b>
<b>Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la elaboración del proyecto de ejecución.</b>	
<b>Contratistas y Subcontratistas</b>	<b>Asignar posteriormente en fase de ejecución de obra</b>
<b>Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra.</b>	<b>Asignar posteriormente en fase de ejecución de obra</b>

**Tabla 14: Agentes intervinientes.**

**Datos generales:** De la información disponible en fase proyecto básico y de ejecución, se aporta aquella que se considera relevante y que puede servir de ayuda para la redacción del plan de seguridad y salud.

<b>Denominación del proyecto</b>	<b>Tanque de tormentas integrado en un SDUS</b>
<b>Emplazamiento</b>	<b>El Escorial</b>
<b>Número de plantas bajo rasante</b>	<b>3</b>
<b>Número de plantas sobre rasante</b>	<b>1</b>

**Tabla 15: Datos generales.**

**Condiciones del solar en que se va a realizar la obra:**

En este apartado, se especifican aquellas condiciones relativas al solar y al entorno donde se ubica la obra, que puedan afectar a la organización inicial de los trabajos y/o a la seguridad de los trabajadores, valorando y delimitando los riesgos que se puedan originar.

Vallado del solar: Resulta especialmente importante restringir el acceso a la obra de personal no autorizado, de manera que todo el recinto de la obra quede inaccesible para toda persona ajena a ella. Para ello, se dispondrá un vallado provisional del solar con malla soldada de altura no inferior a dos metros, delimitando la zona de la obra.

Señalización de accesos: En cada uno de los accesos a la obra se colocará un panel de señalización que recoja las prohibiciones y las obligaciones que debe respetar todo el personal de la obra.

**Instalación eléctrica provisional de la obra:**

Previo petición a la empresa suministradora, ésta realizará la acometida provisional de obra y conexión con la red general por medio de un armario de protección aislante dotado de llave de seguridad, que constará de un cuadro general, toma de tierra y las debidas protecciones de seguridad.

Diariamente se efectuará una revisión general de la instalación, debiéndose comprobar:

- El funcionamiento de los interruptores diferenciales y magnetotérmicos.
- La conexión de cada cuadro y máquina con la red de tierra, verificándose la continuidad de los conductores de tierra.
- El grado de humedad de la tierra en que se encuentran enterrados los electrodos de puesta a tierra.
- Que los cuadros eléctricos permanecen con la cerradura en correcto estado.
- Que no existen partes en tensión al descubierto en los cuadros generales, en los auxiliares ni en los de las distintas máquinas.

Todos los trabajos de conservación y mantenimiento, así como las revisiones periódicas, se efectuarán por un instalador autorizado, que extenderá el correspondiente parte en el que quedará reflejado el trabajo realizado, entregando una de las copias al responsable del seguimiento del plan de seguridad y salud.

Antes de iniciar los trabajos de reparación de cualquier elemento de la instalación, se comprobará que no hay tensión en la misma, mediante los medios apropiados. Al desconectar la instalación para efectuar trabajos de reparación, se adoptarán las medidas necesarias para evitar que se pueda conectar nuevamente de manera accidental. Para ello, se dispondrán las señales reglamentarias y se custodiará la llave del cuadro.

**Otras instalaciones provisionales de la obra:**Zona de almacenamiento y acopio de materiales:

En la zona de almacenamiento y acopio de materiales se adoptarán las siguientes medidas de carácter preventivo:

- Se situará, siempre que sea posible, a una distancia mínima de 10m de la construcción.
- Deberá presentar una superficie de apoyo resistente, plana, nivelada y libre de obstáculos, permaneciendo elevada para evitar su inundación en caso de fuertes lluvias.
- Será fácilmente accesible para camiones y grúas.

- Se apilarán los materiales de manera ordenada sobre calzos de madera, de forma que la altura de almacenamiento no supere la indicada por el fabricante.
- Quedará debidamente delimitada y señalizada.
- Se estudiará el recorrido desde esta zona de almacenamiento y acopio de los materiales hasta el lugar de su utilización en la obra, de modo que esté libre de obstáculos.

#### Zona de almacenamiento de residuos:

Se habilitará una zona de almacenamiento limpia y ordenada, donde se depositarán los contenedores con los sistemas precisos de recogida de posibles derrames, todo ello según disposiciones legales y reglamentarias vigentes en materia de residuos.

Se adoptarán las siguientes medidas de carácter preventivo:

- Se segregarán todos los residuos que sea posible, con el fin de no generar más residuos de los necesarios ni convertir en peligrosos al mezclarlos.
- Deberá presentar una superficie de apoyo resistente, plana, nivelada y libre de obstáculos. Estará elevada, para evitar inundación en caso de fuertes lluvias.
- Será fácilmente accesible para camiones y grúas.
- Quedará debidamente delimitada y señalizada.
- Se estudiará el recorrido desde esta zona de almacenamiento de residuos hasta la salida de la obra, de modo que esté libre de obstáculos.

#### Silos de cemento:

Para su ubicación y posterior utilización, se seguirán las instrucciones del fabricante en cuanto a las medidas de seguridad a adoptar durante las operaciones de montaje, uso, y retirada de la instalación.

#### Grúa Torre:

Para su ubicación y posterior utilización, se seguirán las instrucciones del fabricante en cuanto a las medidas de seguridad a adoptar durante las operaciones de montaje, uso, y retirada de la instalación.

### **Servicios de higiene y bienestar de los trabajadores:**

Los servicios higiénicos de la obra cumplirán las Disposiciones mínimas generales relativas a los lugares de trabajo en las obras, contenidas en la legislación vigente en la materia.

El cálculo de la superficie de los locales destinados a los servicios de higiene y bienestar de los trabajadores, se ha obtenido en función del uso y del número medio de operarios que trabajarán simultáneamente, según especificaciones del plan de ejecución de la obra.

Se llevarán a cabo acometidas de energía eléctrica y de agua hasta los diferentes módulos provisionales de los diferentes servicios sanitarios y comunes que se vayan a instalar en esta obra, realizándose la instalación de saneamiento para evacuar las aguas procedentes de los mismo hacia la red general de alcantarillado.

### **Instalación de asistencia a accidentados y primeros auxilios.**

En la obra se dispondrá un botiquín de primeros auxilios en un sitio visible y debidamente equipado según las disposiciones vigentes en la materia que regulan el suministro a las empresas de botiquines de primeros auxilios en caso de accidente de trabajo. El responsable de emergencias revisará periódicamente el material de primeros auxilios, reponiendo los elementos utilizados y sustituyendo los productos caducados.



### Medidas de emergencia

El contratista deberá reflejar el correspondiente plan de seguridad y salud, las posibles situaciones de emergencia, estableciendo las medidas oportunas en caso de primeros auxilios y designando para ello a personal con formación, que se hará cargo de dichas medidas.

Los trabajadores responsables de las medidas de emergencia tiene derecho a la paralización de su actividad, debiendo estar garantizada la adecuada administración de los primeros auxilios y, cuando la situación lo requiera, el rápido traslado del operario a un centro de asistencia médica.

### Llamadas en caso de emergencia:

En caso de emergencia por accidente:
HOSPITAL DE SAN LORENZO DE EL ESCORIAL
<b>918 90 50 11</b>
Tiempo estimado: 10 minutos

ASPECTOS QUE DEBE COMUNICAR LA PERSONA QUE REALIZA LA LLAMADA AL TELÉFONO DE EMERGENCIAS
<i>Especificar despacio y con voz muy clara:</i>
1.¿DÓNDE ES LA EMERGENCIA?:identificación del emplazamiento de la obra.
2.¿CUAL ES LA SITUACIÓN ACTUAL?:personas implicadas y heridos, acciones.
3. ¿QUIÉN LLAMA? Nombre completo

COMUNICACIÓN A LOS EQUIPOS DE SALVAMENTO	
Ambulancias:	112
Bomberos:	918 90 00 80
Policía Local:	918 90 32 92
Guardia Civil:	918 90 26 11

### COMUNICACIÓN AL EQUIPO TÉCNICO

Jefe de Obra	A designar posteriormente en fase de ejecución de obra	Javier Marcos Pizarro
Responsable de seguridad y salud de la empresa	A designar posteriormente en fase de ejecución de obra	_____

Coordinador de seguridad y salud.	A designar posteriormente en fase de ejecución de obra	
-----------------------------------	--	--

### Instalación contra incendios

Las salidas de emergencia estarán libres de obstáculos, de aquí la importancia que supone el orden y la limpieza en todos los trabajos.

En la obra se dispondrá la adecuada señalización, con indicación expresa de la situación de extintores, salidas de emergencia y de todas las medidas de protección contra incendios que se estimen oportunas.

Debido a que durante el proceso de construcción el riesgo de incendio proviene fundamentalmente de la falta de control sobre las fuentes de energía y los elementos fácilmente inflamables, se adoptarán las siguientes medidas de carácter preventivo:

- Se debe ejercer un control exhaustivo sobre el modo de almacenamiento de los materiales, incluyendo los de desecho, en relación a su cantidad y a las distancias respecto a otros elementos fácilmente inflamables.
- Se evitará toda instalación incorrecta, aunque sea de carácter provisional, así como el manejo inadecuado de las fuentes de energía, ya que constituyen un claro riesgo de incendio.

Los medios de extinción de incendios a utilizar en esta obra consistirán en mantas ignífugas, arena y agua, además de extintores portátiles, cuya cara y capacidad estarán en consonancia con la naturaleza del material inflamable y su volumen.

Los extintores se ubicarán en las zonas de almacenamiento de materiales, junto a los cuadros eléctricos y en los lugares de trabajo donde se realicen operaciones de soldadura, oxicorte, pintura o barnizado.

Quedará totalmente prohibido, dentro del recinto de la obra, realizar hogueras, utilizar hornillos de gas y fumar, así como ejecutar cualquier trabajo de soldadura y oxicorte en los lugares donde existan materiales inflamables.

Todas estas medidas han sido concebidas con el fin evitar incendios o en caso de producirse éste que el personal pueda extinguirlo en su fase inicial o pueda controlar y reducir el incendio hasta la llegada de los

bomberos, que deberán ser avisados inmediatamente, pese a encontrarse el parque de bombero colindante al emplazamiento de la obra.

### **Zonas de Almacenamiento**

Los materiales que hayan de ser utilizados por oficios diferentes, se almacenarán siempre que sea posible, en recintos separados. Los materiales combustibles estarán claramente discriminados entre si evitándose cualquier tipo de contacto de estos materiales y conducciones eléctricas.

Los combustibles líquidos se almacenarán en casetas independientes y dentro de recipientes de seguridad especialmente diseñados para tal fin.

Las sustancias combustibles se conservarán en envases cerrados con la identificación de su contenido mediante etiquetas fácilmente legibles.

Los espacios cerrados destinados a almacenamiento deberán disponer de ventilación directa y constante. Para extinguir posibles incendios, se colocará un extintor adecuado al tipo de material almacenado, situado en la puerta de acceso con una señal de peligro de incendio y otra de prohibido fumar.

### **Casetas de obra**

En cada una de las casetas de obra que se encuentren en el lugar de las obras se dispondrá un extintor de incendios, que deberá contar con las debidas inspecciones técnicas y la expedición de su correcto estado por parte de la empresa correspondiente conforme a los plazos de revisión.

### **Trabajos de soldadura**

Se deberá tener especial cuidado en el mantenimiento de los equipos de soldadura. Para extinguir fuegos incipientes ocasionados por partículas incandescentes originadas en operaciones de corte y soldadura, se espaciará sobre el lugar de recalentado arena abundante, que posteriormente se cubrirá con agua.

Se colocará junto a la zona de trabajo, en un lugar fácilmente accesible, visible y debidamente señalizado, extintores. En las fichas de seguridad se explicitarán las circunstancias que requiere el extintor.

### **Señalización**





Se señalizará e iluminará las zonas de trabajo, tanto diurnas como nocturnas, fijando en cada momento las rutas alternativas y los desvíos que en cada caso sean pertinentes.

No obstante, en caso de que pudiera surgir a lo largo de su desarrollo situaciones no previstas, se utilizará la señalización adecuada a cada circunstancia con el visto bueno del coordinador de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.

Durante la ejecución de la obra deberá utilizarse, para la delimitación de las zonas donde exista riesgo, una malla de señalización, hasta el momento en que se instale definitivamente el sistema de protección colectiva y se coloque la señal de riesgo correspondiente. Estos casos se recogerán en las fichas de unidades de obra.

### Riesgos laborales

A continuación, se muestra una tabla en la que quedan recogidos los distintos riesgos susceptibles de producirse en la obra, quedan registrados en la siguiente tabla mediante su correspondiente código, icono de identificación, tipo de riesgo y una breve definición:

Cód.	Imagen	Riesgo	Definición
01		Caída de personas a distinto nivel.	Incluye tanto las caídas desde puntos elevados, tales como edificios, árboles, máquinas o vehículos, como las caídas en excavaciones o pozos y las caídas a través de aberturas.
02		Caída de personas al mismo nivel.	Incluye caídas en lugares de paso o superficies de trabajo y caídas sobre o contra objetos.
03		Caída de objetos por desplome.	El riesgo existe por la posibilidad de desplome o derrumbamiento de: estructuras elevadas, pilas de materiales, tabiques, hundimientos de forjados por sobrecarga, hundimientos de masas de tierra, rocas en corte de taludes, zanjas, etc.
04		Caída de objetos por manipulación.	Posibilidad de caída de objetos o materiales sobre un trabajador durante la ejecución de trabajos o en operaciones de transporte y elevación por medios manuales o mecánicos, siempre que el accidentado sea la misma persona a la cual le caiga el objeto que estaba manipulando.

**Tabla 16: Riesgos susceptibles de producirse en la obra.**









Cód.	Imagen	Riesgo	Definición
05		Caída de objetos desprendidos.	Posibilidad de caída de objetos que no se están manipulando y se desprenden de su situación. Ejemplos: piezas cerámicas en fachadas, tierras de excavación, aparatos suspendidos, conductos, objetos y herramientas dejados en puntos elevados, etc.
06		Pisadas sobre objetos.	Riesgo de lesiones (torceduras, esguinces, pinchazos, etc.) por pisar o tropezar con objetos abandonados o irregularidades del suelo, sin producir caída. Ejemplos: herramientas, escombros, recortes, residuos, clavos, desniveles, tubos, cables, etc.
07		Choque contra objetos inmóviles.	Considera al trabajador como parte dinámica, es decir, que interviene de forma directa y activa, golpeándose contra un objeto que no estaba en movimiento.
08		Choque contra objetos móviles.	Posibilidad de recibir un golpe por partes móviles de maquinaria fija y objetos o materiales en manipulación o transporte. Ejemplos: elementos móviles de aparatos, brazos articulados, carros deslizantes, mecanismos de pistón, grúas, transporte de materiales, etc.
09		Golpe y corte por objetos o herramientas.	Posibilidad de lesión producida por objetos cortantes, punzantes o abrasivos, herramientas y útiles manuales, etc. Ejemplos: herramientas manuales, cuchillas, destornilladores, martillos, lijas, cepillos metálicos, muelos, aristas vivas, cristales, sierras, cizallas, etc.
10		Proyección de fragmentos o partículas.	Riesgo de lesiones producidas por piezas, fragmentos o pequeñas partículas. Comprende los accidentes debidos a la proyección sobre el trabajador de partículas o fragmentos procedentes de una máquina o herramienta.
11		Atrapamiento por objetos.	Posibilidad de sufrir una lesión por atrapamiento de cualquier parte del cuerpo por mecanismos de máquinas o entre objetos, piezas o materiales, tales como engranajes, rodillos, correas de transmisión, mecanismos en movimiento, etc.
12		Aplastamiento por vuelco de máquinas.	Posibilidad de sufrir una lesión por aplastamiento debido al vuelco de maquinaria móvil, quedando el trabajador atrapado por ella.

Tabla 17: Riesgos susceptibles de producirse en la obra.













Cód.	Imagen	Riesgo	Definición
13		Sobreesfuerzo.	Posibilidad de lesiones músculo-esqueléticas y/o fatiga física al producirse un desequilibrio entre las exigencias de la tarea y la capacidad física del individuo. Ejemplos: manejo de cargas a brazo, amasado, lijado manual, posturas inadecuadas o movimientos repetitivos, etc.
14		Exposición a temperaturas ambientales extremas.	Posibilidad de daño por permanencia en ambiente con calor o frío excesivos. Ejemplos: hornos, calderas, cámaras frigoríficas, etc.
15		Contacto térmico.	Riesgo de quemaduras por contacto con superficies o productos calientes o fríos. Ejemplos: estufas, calderas, tuberías, sopletes, resistencias eléctricas, etc.
16		Contacto eléctrico.	Daños causados por descarga eléctrica al entrar en contacto con algún elemento sometido a tensión eléctrica. Ejemplos: conexiones, cables y enchufes en mal estado, soldadura eléctrica, etc.
17		Exposición a sustancias nocivas.	Posibilidad de lesiones o afecciones producidas por la inhalación, contacto o ingestión de sustancias perjudiciales para la salud. Se incluyen las asfixias y los ahogos.
18		Contacto con sustancias cáusticas o corrosivas.	Posibilidad de lesiones producidas por contacto directo con sustancias agresivas. Ejemplos: ácidos, álcalis (sosa cáustica, cal viva, cemento, etc.).
19		Exposición a radiaciones.	Posibilidad de lesión o afección por la acción de radiaciones. Ejemplos: rayos X, rayos gamma, rayos ultravioleta en soldadura, etc.
20		Explosión.	Posibilidad de que se produzca una mezcla explosiva del aire con gases o sustancias combustibles o estallido de recipientes a presión. Ejemplos: gases de butano o propano, disolventes, calderas, etc.
21		Incendio.	Accidentes producidos por efectos del fuego o sus consecuencias.
22		Afección causada por seres vivos.	Riesgo de lesiones o afecciones por la acción sobre el organismo de animales, contaminantes biológicos y otros seres vivos. Ejemplos: Mordeduras de animales, picaduras de insectos, parásitos, etc.
23		Atropello con vehículos.	Posibilidad de sufrir una lesión por golpe o atropello por un vehículo (perteneciente o no a la empresa) durante la jornada laboral. Incluye los accidentes de tráfico en horas de trabajo y excluye los producidos al ir o volver del trabajo.

Tabla 18: Riesgos susceptibles de producirse en la obra.









Cód.	Imagen	Riesgo	Definición
24		Exposición a agentes químicos.	Riesgo de lesiones o afecciones por entrada de agentes químicos en el cuerpo del trabajador a través de las vías respiratorias, por absorción cutánea, por contacto directo, por ingestión o por penetración por vía parenteral a través de heridas.
25		Exposición a agentes físicos.	Riesgo de lesiones o afecciones por la acción del ruido o del polvo.
26		Exposición a agentes biológicos.	Riesgo de lesiones o afecciones por entrada de agentes biológicos en el cuerpo del trabajador a través de las vías respiratorias, mediante la inhalación de bioaerosoles, por el contacto con la piel y las mucosas o por inoculación con material contaminado (vía parenteral).
27		Exposición a agentes psicosociales.	Incluye los riesgos provocados por la deficiente organización del trabajo, que puede provocar situaciones de estrés excesivo que afecten a la salud de los trabajadores.
28		Derivado de las exigencias del trabajo.	Incluye los riesgos derivados del estrés de carga o postural, factores ambientales, estrés mental, horas extra, turnos de trabajo, etc.
29		Personal.	Incluye los riesgos derivados del estilo de vida del trabajador y de otros factores socioestructurales (posición profesional, nivel de educación y social, etc.).
30		Deficiencia en las instalaciones de limpieza personal y de bienestar de las obras.	Incluye los riesgos derivados de la falta de limpieza en las instalaciones de obra correspondientes a vestuarios, comedores, aseos, etc.
31		Otros.	

Tabla 19: Riesgos susceptibles de producirse en la obra.

### Riesgos evitables

A continuación, se muestran los principales riesgos laborales evitables, indicando sus correspondientes medidas preventivas las cuales consiguen el efecto de evitar que se produzca el daño, combatiendo los riesgos en su origen.

RIESGO ELIMINADO	MEDIDA PREVENTIVA PREVISTA
Los originados por el uso de máquinas sin mantenimiento preventivo	Control de sus libros de mantenimiento
Los ocasionados por el uso de máquinas carentes de protecciones en sus partes móviles	Control del buen estado de las máquinas retirando aquellas que presente alguna deficiencia en su correcto funcionamiento, siendo remplazadas por aquellas que se encuentren en correcto estado.
Los ocasionados por el uso de máquinas carentes de protecciones frente a contactos eléctricos.	Exigencia de que todas las máquinas estén equipadas con doble aislamiento o en su caso toma de tierra, en combinación con los interruptores diferenciales de los cuadros de suministro y con la red de toma de tierra general eléctrica.

Tabla 20: Riesgos evitables.

**Documentación necesaria para el control del estudio de seguridad y salud en la obra:**

● **Estudio de Seguridad y Salud:** Se precisa este documento elaborado por el técnico competente designado por el promotor, en este documento se incluirán las normas de seguridad y salud aplicables a la obra, contemplando la identificación de los riesgos laborales que puedan ser evitados junto con todas las medidas técnicas necesarias para ello.

● **Plan de Seguridad y Salud:** Cada contratista elaborará su correspondiente plan de seguridad y salud en el trabajo, en el que se analizarán, estudiarán y desarrollarán las previsiones contenidas en el Estudio de Seguridad y Salud. En dicho plan se deben incluir las medidas propuestas como alternativas de prevención que el contratista proponga con su correspondiente justificación técnica.  
El coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra aprobará el plan de seguridad y salud antes del inicio de la misma.

**Condiciones técnicas:**

Es responsabilidad del contratista, asegurarse de que toda la maquinaria, andamiajes, pequeña maquinaria, equipos auxiliares y herramientas manuales empleados en la obra cumplan las disposiciones legales y reglamentarias vigentes sobre esta materia.

**Equipos de protección individual (EPI):**

Todos los medios de protección individual empleados en la obra, además de cumplir estrictamente con la normativa vigente en la materia, reunirán las siguientes condiciones:

- Serán ergonómicos y no causarán molestias innecesarias. Nunca supondrán un riesgo en sí mismos, ni perderán su seguridad de forma involuntaria.
- El fabricante los suministrará junto con un folleto informativo en el que figuran las instrucciones de uso y mantenimiento, nombre y dirección del fabricante, grado o clase de protección, accesorios que pueda llevar y características de piezas de repuesto, límite de uso, plazo de vida útil y controles a los que se ha sometido. Deberá estar redactado de forma comprensible y, en caso de equipos de importación, deberán estar traducidos a la lengua oficial.
- Los equipos de protección individual serán suministrados gratuitamente por el contratista y reemplazados de inmediato cuando se deterioren como consecuencia de su uso, al final del periodo de su vida útil o después de estar sometidos a solicitaciones límite. Debe quedar constancia por escrito del motivo del recambio, especificando además del nombre de la empresa y el operario que recibe el nuevo equipo de protección de individual, para garantizar el correcto uso de estas protecciones.
- Se utilizarán de forma personal y para los usos previstos por el fabricante, supervisando el mantenimiento el Delegado de prevención.
- Las normas de utilización de los equipos de protección individual atenderán a las recomendaciones incluidas en los folletos explicativos de los fabricantes, que el contratista certificará haber entregado a cada uno de los trabajadores.
- Los equipos se limpiarán periódicamente y siempre que se ensucien, guardándolos en un lugar seco no expuesto a la luz solar. Cada operario es responsable del estado y buen uso de los equipos de protección individual (EPIs) que utilice.
- Los equipos de protección individual que tengan fecha de caducidad, antes de llegar a esta, se acopiarán de forma ordenada y serán revisados por el coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, para que autorice su eliminación de la obra.

Los requisitos que deben cumplir cada uno de los equipos de protección individual (EPIs) a utilizar en la obra, se definirán en las correspondientes fichas de prevención de riesgos.

### Equipos de protección colectiva

El contratista es el responsable de que los medios de protección colectiva utilizados en la obra cumplan las disposiciones legales y reglamentarias vigentes en materia de seguridad y salud, además de las siguientes condiciones de carácter general:

- Los medios de protección colectiva se colocarán según las especificaciones del plan de seguridad y salud antes de iniciar el trabajo en el que se requieran, no suponiendo un riesgo en sí mismos.
- Estarán disponibles para su uso inmediato, dos días antes de la fecha prevista de su montaje en obra, acopiadas en las condiciones idóneas de almacenamiento para su buena conservación.
- Cuando se utilice madera para el montaje de las protecciones colectivas, ésta será totalmente maciza, sana y carente de imperfecciones, nudos o astillas. No se utilizará en ningún caso material de desecho.
- Queda prohibida la iniciación de un trabajo o actividad que requiera una protección colectiva hasta que ésta quede montada por completo en el ámbito del riesgo que neutraliza o elimina.
- Antes de la utilización de cualquier sistema de protección colectiva, se comprobará que sus protecciones y condiciones de uso son las apropiadas al riesgo que se requiere prevenir, verificando que su instalación no representa peligro añadido a terceros.
- Se controlará el número de usos y el tiempo de permanencia de las protecciones colectivas con el fin de no sobrepasar su vida útil. Dejarán de utilizarse, de forma inmediata, en caso de deterioro, rotura de algún componente o cuando sufran cualquier otra incidencia que comprometa o menoscabe eficacia. Una vez colocadas en obra, deberán ser revisadas periódicamente y siempre antes del inicio de cada jornada.
- Sólo deben utilizarse los modelos de protecciones colectivas previstos expresamente para esta obra.
- Se repondrá siempre que estén deteriorados, al final del periodo de vida útil, después de estar sometidos a solicitaciones límite, o cuando sus tolerancias sean superiores a las admitidas o aconsejadas por el fabricante. Tan pronto como se produzca la necesidad de reponer o sustituir las protecciones colectivas, e paralizarán los trabajos protegidos por ellas y se desmontarán de forma inmediata, hasta que se alcance de nuevo el uso de sistemas anticaídas sujetos a dispositivos y líneas de anclaje.

En todas las situaciones en las que se prevea que puede producirse riesgo de caída a distinto nivel, se instalarán previamente dispositivos de anclaje para el enganche de los arneses de seguridad. De forma especial, aquellos trabajos para los que, por su corta duración, se omitan las protecciones colectivas, en los que deberá concretarse la ubicación y las características de dichos dispositivos de anclaje.

Los requisitos que deben cumplir cada uno de los equipos de protección colectiva a utilizar en esta obra se definirán en las correspondiente fichas de prevención de riesgos.

### Servicios de higiene y bienestar de los trabajadores

Los locales destinados a instalaciones provisionales de salud y confort tendrán una temperatura, iluminación, ventilación y condiciones de humedad adecuadas para su uso.

Manteniendo los revestimientos de los suelos, paredes y techos impermeables y con materiales que permitan la limpieza con antisépticos o con desinfectantes.

El contratista mantendrá las instalaciones en perfectas condiciones sanitarias.

### Iluminación de los lugares de trabajo y tránsito:

Todos los lugares de trabajo o de tránsito, dispondrán siempre que sea posible de iluminación natural. En caso contrario se recurrirá a iluminación artificial o mixta, que será apropiada y suficiente para las operaciones o trabajos que se efectúen en ellos.

La distribución de los niveles de iluminación será lo más uniforme posible, procurando mantener unos niveles y contrastes de luminaria adecuados a las exigencias visuales de cada tarea.

Se evitarán deslumbramientos directos producidos por la luz solar o por fuentes de luz artificial de alta luminancia, así como los deslumbramientos indirectos, producidos por superficies reflectantes situadas en la zona de trabajo o en sus proximidades.

En los lugares de trabajo y de tránsito con riesgo de caídas, escaleras y salidas de urgencia o emergencia, se deberá intensificar la iluminación para evitar posibles accidentes.

Se deberá utilizar luz artificial en aquellas zonas de trabajo que carezcan de iluminación natural o ésta sea insuficiente, o cuando se proyecten sombras que dificulten los trabajos. Para ello, se utilizará preferentemente focos o puntos de luz portátiles provistos de protección antichoque, para que proporcionen la iluminación apropiada a la tarea a realizar.

Las intensidades mínimas de iluminación para las diferentes zonas de trabajo previstas en la obra serán:

- En galerías y lugares de paso: 20 lux.
- En zonas de carga y descarga: 50 lux.
- En almacenes, depósitos, vestuarios y aseos : 100 lux.
- En zonas de trabajo con maquinaria: 200 lux.

En los lugares de trabajo con riesgo de incendio o explosión, la iluminación será antideflagrante. Se dispondrá de iluminación de emergencia adecuada a las dimensiones de la infraestructura y al número de operarios que trabajen simultáneamente, que sea capaz de mantener al menos durante una hora una intensidad de 5 lux. Su fuente de energía será independiente del sistema normal de iluminación.

### **Materiales, productos y sustancias peligrosas**

Los productos, materiales y sustancias químicas que impliquen algún riesgo para la seguridad o la salud de los trabajadores, deberán recibirse en obra debidamente envasada y etiquetada, de forma que identifiquen claramente tanto su contenido como los riesgos que conllevan su almacenamiento, manipulación o utilización.

Se propiciará a los trabajadores la formación adecuada, las instrucciones sobre su correcta utilización, las medidas preventivas adicionales a adoptar y los riesgos asociados tanto a su correcto uso, como a su manipulación o empleo inadecuados.

No se admitirán en obra envases de sustancias peligrosas que no sean originales ni aquellos que no cumplan con las disposiciones legales y reglamentarias vigentes sobre esta materia. Esta consideración se hará extensiva al etiquetado de los envases.

Los envases de capacidad inferior o igual a un litro que contengan sustancias líquidas muy tóxicas o corrosivas deberán llevar una indicación de peligro fácilmente detectable.





# ANEJO VII: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

### ● **Descripción del proyecto:**

Evitar la inundación producida por el desbordamiento arroyo del Batán a su paso por el Municipio de El Escorial (Madrid) en episodios de extremas precipitaciones. La solución que se plantea, es conducir el agua que rebasaría el cauce natural mediante la construcción de un canal y almacenarla en un Tanque, construido para tal fin, cabiendo la posibilidad de utilizar dicha agua para satisfacer demandas de regadío o agua para hidrantes.

### ● **Definición del ámbito de estudio**

#### -Ubicación y Generalidades.

La zona en la que se ubicará el proyecto se sitúa en el Municipio de El Escorial, situado al noroeste de la Comunidad de Madrid (España), a 45 km de la capital y a los pies de la vertiente meridional de la Sierra de Guadarrama, formando parte de la comarca de la cuenca del Guadarrama. (Figura 124). Dicho municipio, se encuentra colindante en su parte norte con otro del nombre similar San Lorenzo de El



Escorial (conocido por el Monasterio de Felipe II). (Figura 125).

A través de El Escorial discurre el Arrollo del Batán, afluente del río Aulencia, el cual nace en el Monte Abantos y desemboca en el río Guadarrama. El arroyo del Batán llega al municipio de El Escorial por su parte oeste, procedente del Embalse del Batán, cercando el núcleo urbano en su parte sur. (Figura 126).

**Figura 124: Ubicación del Municipio de El Escorial en el Mapa de España.**



**Figura 125: Ubicación de El Escorial en La Comunidad de Madrid.**



**Figura 126: Ubicación del Arroyo del Batán en El Escorial.**

**-Ubicación del Tanque:** La ubicación del tanque se encuentra a la derecha del cauce fluvial en el sentido aguas arriba-aguas abajo antes de que el cauce atraviese el propio municipio y ubicándose en la parcela Los Cacerones. (Figura 127).



**Figura 127: Ubicación del Tanque de tormentas.**

### ●**Inventario y valoración ambiental:**

**-Flora:** La zona en la que se ubica el proyecto cuenta con una vegetación potencial constituida por Melojares Guadarrámicos (*Luzulo-Quercetum pyrenaicae*) y los Pinares y Piornales (*Junípero-Cytisetum purganitis*). El carácter clímacico del melojar y del encinar es evidente, ya que casi todo su dominio se encuentra ocupado, tanto por manchas de bosque, como por sus etapas de sustitución: retamares, tomillares, etc.

Junto con los melojares y pinares, aparecen otras comunidades vegetales como son las Encinares carpetánicos (*Junípero oxycedri- Quercetum rotundifoliae*), Fresnedas (*Quercus-Praxinetum angustifoliae*), Alamedas (*Rubio populeton albae*), Jarales pringosos (*Rosmarino- Cistetum jadaniferi*), Retamares (*Retamion sphaerocarpaceae*), Zarzales y Rosaledas oligotrofos (*Rubus ulmifolii-Rosetum corymbiferae*).

**-Fauna:** Esta zona cuenta con un territorio muy variable que presenta una dualidad importante entre un espacio ganadero y un entorno de vegetación natural más o menos degradada. Esto implica la existencia de numerosos hábitats y condiciona la estructura y la diversidad de las comunidades faunísticas, entre las que la ornítica aparece como la más representativa.

Si a esto se añade que algunas de estas comunidades se encuentran en un estado de conservación relativamente bueno la abundancia e importancia de la fauna existente en el término municipal en el que se ubica el proyecto puede ser considerada como relevante.

Los hábitats faunísticos más característicos del municipio son:

Este medio es bastante inhóspito para los anfibios y reptiles, aunque aparecen especies como el Sapo común (*Bufo bufo*) entre los primeros, y el Lagarto ocelado (*Lacerta ocellata*), la Lagartija ibérica (*Podarcis hispanica*), la Lagartija colirroja (*Psamodromus algirus*), la Lagartija cenicienta (*Psamodromus hispanicus*), la Culebra de escalera (*Elaphe scalaris*) y la Culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*), entre los segundos.

Los mamíferos son más abundantes. Entre los herbívoros destacan por su tamaño el Jabalí (*Sus scrofa*), el Conejo (*Oryctolagus cuniculus*) o la Liebre ibérica (*Lepus granatensis*), aunque también existen pequeños mamíferos como el Topillo común (*Microtus duodecimcostatus*), el Ratón de Campo (*Reithrodontomys sylvaticus*), el Ratón moruno (*Mus spretus*), el Ratón casero (*Mus musculus*), la Rata común (*Rattus norvegicus*), la Musaraña común (*Crocidura rosula*), el Topo (*Talpa occidentalis*) y el Erizo común (*Echinaceus europaeus*). Dentro de los carnívoros, el Zorro (*Vulpes vulpes*), el Tejón (*Meles meles*) y la Comadreja (*Mustela nivalis*) son los más representativos.

Por otro lado, las aves constituyen el grupo faunístico más importante, destacando:

El Milano negro (*Milvus migrans*), el Milano real (*Milvus milvus*), el Azor (*Accipiter gentilis*), el Gavilán (*Accipiter nisus*), el Busardo ratonero (*Buteo buteo*), el Águila calzada (*Haliaeetus pennatus*), el Alcotán (*Falco subbuteo*), el Cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*), la Perdiz Roja (*Perdix perdix*), la Paloma bravía (*Columba livia*), la Paloma zurita (*Columba palumbus*), la Tórtola europea (*Streptopelia turtur*), el Críalo europeo (*Chlorophanes glandarius*), el Cuco común (*Cuculus canorus*), la Lechuza común (*Nyctaleus alba*), el Autillo europeo (*Otus scops*), el Búho real (*Bubo bubo*), el Carabocoma (*Strix aluco*), el Mochuelo (*Nyctaleus noctua*), el Chotacabras Pardo (*Caprimulgus ruficollis*), la Carraca (*Coracias garrulus*), el Abejaruco (*Merops apiaster*), la Abubilla (*Upupa epops*), el Vencejo común (*Apus apus*), el Pito real (*Picops viridis*) y el Pico picapinos (*Dendrocopos major*).

### ●Evaluación de impactos.

Para identificar los aspectos medio ambientales analizamos las actividades, operaciones y procesos desde el punto de vista de su interacción con el medio ambiente. Acciones del proyecto que pueden producir o desencadenar impactos tanto en la fase de construcción como en la fase de explotación. Para ello se tendrá en cuenta:

- Emisiones controladas e incontroladas hacia la atmósfera.
- Vertidos controlados e incontrolados en las aguas y alcantarillado.
- Residuos sólidos y de cualquier otro tipo, en particular los peligrosos.
- Contaminación del suelo.
- Utilización del suelo, el agua, la energía y otros recursos naturales.
- Emisión de ruidos, olores, polvo, vibración e impacto visual.
- Repercusiones en los ecosistemas, incluyendo las condiciones de funcionamiento normales y anormales,

incidentes, accidentes y situaciones de emergencia potenciales, así como actividades pasadas, presentes y previstas.

- Acciones derivadas del incumplimiento de la normativa ambiental vigente.

### ● Identificación de impactos

En el presente estudio, el análisis de los impactos se ha llevado a cabo mediante el siguiente modelo:

1. Impactos sobre la geología.
2. Impactos sobre las aguas:
  - Aguas superficiales.
  - Aguas subterráneas
3. Impactos sobre comunidades biológicas.
  - Vegetación.
  - Fauna.
4. Impactos sobre el paisaje.
5. Impactos sobre la calidad del aire (producción de polvo).
6. Impactos sobre el nivel sonoro (producción de ruidos).

De la interacción entre las acciones del proyecto y los factores ambientales, se han identificado los impactos ambientales que se enumeran más adelante. En el presente estudio, para cada recurso afectado se ha seguido el siguiente proceso de valoración de impactos:

### ● Evaluación de impactos

Se establece un sistema para evaluar los impactos detectados siguiendo la terminología que se expone a continuación:

● **MAGNITUD.** Efecto notable o mínimo (A o A1): es aquél que repercute altamente sobre el medio (A) o que al contrario tiene una incidencia muy pequeña (A1).

● **NATURALEZA.** Efecto positivo o negativo (B o B1): El efecto positivo (B) es aquél admitido como tal, tanto por la comunidad técnica y científica como por la población en general, en el contexto de un análisis completo de costes y beneficios genéricos de la evaluación contemplada. El efecto negativo (B1) es aquél que se traduce en pérdida de valor naturalístico, estético-cultural, paisajístico, de productividad ecológica o en el aumento de los prejuicios derivados de la contaminación, de la erosión o colmatación o demás riesgos ambientales en discordancia con la estructura ecológico-geográfica, el carácter y la personalidad de una localidad determinada.

● **PERSISTENCIA.** Efecto permanente o temporal (C o C1): El efecto permanente (F) es aquél que supone una alteración indefinida en el tiempo de factores de acción predominante a la estructura o a la función de los sistemas de relaciones ecológicas o ambientales presentes en el lugar. El temporal (F1) es aquél que supone una alteración no permanente en el tiempo, antes de un término temporal de manifestación que pueda estimarse o determinarse.

● **REVERSIBILIDAD.** Efecto reversible o irreversible (D o D1): El reversible (G), es aquél en el que la alteración que supone puede eliminarse, bien por acción natural, bien por acción humana, así como aquél en que la alteración que supone puede ser reemplazable. El efecto irreversible es justamente lo contrario (G1).

● **MOMENTO DE APARICIÓN.** Efecto a corto, medio y largo plazo (E, E1 o E2): Es aquel en que su incidencia puede manifestarse, respectivamente, dentro del tiempo comprendido en un ciclo anual (E), entre uno y tres años (E1), o en un periodo superior a tres (E2).

● **NECESIDAD DE MEDIDAS (NM):** Si los impactos detectados son negativos, se tendrá en cuenta si es posible o no su minimización, corrección o compensación mediante la aplicación de medidas. En función de esta categorización, se evaluarán, antes de considerar la aplicación de medidas correctoras, los impactos definidos de acuerdo con los siguientes conceptos:



● **IMPACTO CRÍTICO (CR).** Aquél de magnitud superior a la aceptable y que supone una pérdida permanente, sin recuperación posible de las condiciones ambientales iniciales, incluso tras la adopción de medidas correctoras.

● **IMPACTO SEVERO (S).** Aquél en el que la recuperación de las condiciones ambientales del medio exige la adecuación de medidas correctoras y en el que la recuperación del medio, a pesar de las medidas, requiere un período de tiempo considerable.

● **IMPACTO MODERADO (M).** Aquél en el que la recuperación del medio no precisa medidas correctoras intensivas y en el que se requiere un cierto tiempo para la recuperación de las condiciones ambientales iniciales.

● **IMPACTO COMPATIBLE (C).** Aquél de recuperación inmediata y que no precisa medidas correctoras. Caracterizados y evaluados los impactos, se definen las medidas correctoras para cada impacto analizado como moderado o severo.

*Así, según el artículo 10 del Real Decreto 1131/1988, de aprobación del Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de evaluación de impacto ambiental, modificado por la Ley 6/2001, un impacto puede ser:*

● **Directo:** aquel que tiene una incidencia inmediata en algún aspecto ambiental.

● **Indirecto o secundario:** aquel que supone incidencia inmediata respecto a la interdependencia o, en general, respecto a la relación de un sector ambiental con otro.

● **Simple:** aquel que se manifiesta sobre un único componente ambiental, o la forma de acción del cual es individualizada, sin consecuencias en la inducción de nuevos efectos, ni en la de la su acumulación, ni en la de la su sinergia.

● **Acumulativo:** aquel que, al prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad, al faltar los mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento del agente causante del mal.

● **Sinérgico:** aquel que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de diversos agentes supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente. Así mismo, se incluye en este tipo aquel efecto la forma de acción del cual induce en el tiempo la aparición de otros nuevos.

● **Permanente:** aquel que supone una alteración indefinida en el tiempo de factores de acción predominante en la estructura o en la función de los sistemas de relaciones ecológicas o ambientales presentes en el lugar.

● **Temporal:** aquel que supone una alteración no permanente en el tiempo, con un término temporal de manifestación que puede estimarse o determinarse.

● **Reversible:** aquel en que la alteración que supone puede ser asimilada por el entorno de forma cuantificable, a medio término, debido al funcionamiento de los procesos naturales de la sucesión ecológica, y de los mecanismos de auto depuración del medio. Irreversible: aquel que supone la imposibilidad, o la dificultad extrema, de retornar a la situación anterior a la situación que lo produce.

● **Recuperable:** aquel en que la alteración que supone puede eliminarse, bien por la acción natural, por la acción humana y, así mismo, aquel en que la alteración que supone puede ser reemplazable.

● **Irrecuperable:** aquel en que la alteración o pérdida que supone es imposible de reparar o restaurar, tanto por la acción natural como por la humana.

● **Periódico:** aquel que se manifiesta con una forma de acción intermitente y continua en el tiempo.

De aparición irregular: aquel que se manifiesta de forma imprevisible en el tiempo y las alteraciones del cual es preciso evaluar en función de una probabilidad de ocurrencia, sobre todo en aquellas circunstancias no periódicas ni continuas, pero de gravedad excepcional.

● **Continuo:** aquel que se manifiesta con una alteración constante en el tiempo, acumulada o no.

● **Discontinuo:** aquel que se manifiesta a través de alteraciones irregulares o intermitentes en su permanencia.

Una vez identificados y evaluados, podemos realizar una valoración de los impactos, así como del impacto global de la actuación proyectada.

## ●FASE DE CONSTRUCCIÓN

### Impactos sobre la geología

#### -Alteraciones sobre la geomorfología.

Las acciones que pueden producir impacto sobre este factor se presentan únicamente en la fase de construcción. La actuación más perturbadora será la excavación y el movimiento de tierras, que puede originar toda una serie de acciones susceptibles a provocar impactos varios.

Entre estas actuaciones cabe destacar:

- Desbroce del terreno.
- Excavaciones y rellenos.
- Elección de zonas de vertedero, acopios y préstamos.

Sin embargo, aunque la acción más perturbadora es el movimiento de tierras, para evitar el riesgo de deslizamientos y garantizar la estabilidad de la totalidad de los taludes a generar en los procesos constructivos, en el proyecto se ha tenido en cuenta la naturaleza litológica de los terrenos. Por lo que respecta a los riesgos geológicos, el impacto se ha caracterizado como negativo, temporal, reversible, de aparición a corto plazo y local. La magnitud del impacto se ha caracterizado como COMPATIBLE-MODERADO de baja intensidad

#### -Riesgos de erosión de los taludes generados.

Como consecuencia de la alteración de la geomorfología, dado que se realizarán acopios, se abrirán zanjas, se eliminará la cubierta vegetal, etc., se produce un riesgo de erosión de los taludes recientemente creados. En lo que concierne a la creación de taludes por motivo de la ejecución del tanque, se proyectan en general taludes con pendientes máximas 1H/3V, protegidos con escollera los taludes del canal, para asegurar su estabilidad. El terreno donde se realizarán las infraestructuras se encuentra situado en una zona llana, por lo que se considera un impacto COMPATIBLE.

#### -Pérdida de suelo.

La superficie a dismantelar es bastante moderada, y el valor del recurso suelo es escaso, lo cual hace que el impacto sea calificado como COMPATIBLE. No obstante, en el momento de ejecución de las obras, se deberá realizar un cálculo de la superficie de taludes que van a ser revegetados, estimándose la cantidad de tierra vegetal que será necesario acopiar en cordones o pilas inferiores a 1,5 m, según se desarrolla en el epígrafe correspondiente a las medidas correctoras.

### Impactos sobre las aguas.

#### -Aguas superficiales.

Cabe destacar que la construcción del Tanque es un factor positivo en el sentido de evitar una catástrofe por la inundación, además de conseguir satisfacer determinadas demandas de agua con la que queda almacenada en el interior de la infraestructura. En este caso se califica el impacto como COMPATIBLE.

En todo caso, las obras supondrán un desplazamiento continuo de personal y maquinaria, que sin las medidas protectoras adecuadas puede afectar directamente a los recursos de agua de la zona o a los suelos. La contaminación puede tener distintas procedencias:

- Vertidos de restos de hormigón, procedentes de la limpieza de las cubas hormigoneras.
- Vertidos de aguas residuales, procedentes del lavado de maquinaria.
- Vertidos de aceites y lubricantes procedentes del mantenimiento de maquinaria.

Los efectos negativos tendrán una repercusión inmediata, temporal y de aparición a corto plazo, tratándose de un impacto que podría ir desde MODERADO a SEVERO, si no se aplican las medidas precautorias en la gestión de la ejecución de las obras y en la formación ambiental del personal operario.

#### -Aguas subterráneas.

El origen de los contaminantes puede ser de la misma naturaleza que la señalada en el apartado anterior. Los efectos negativos tendrán una repercusión inmediata, temporal y de aparición a corto plazo, tratándose de un impacto que podría ir desde MODERADO a SEVERO, si no se aplican las medidas precautorias análogas a las descritas en el apartado anterior.

### **Impactos sobre comunidades biológicas**

#### -Vegetación.

Las alteraciones que las obras proyectadas producirán sobre la vegetación se concentran exclusivamente en la fase de construcción. El desbroce, derribo y el movimiento de tierras provocarán la desaparición de la cubierta vegetal a lo largo de la superficie afectada por las obras. En general, la desaparición de la vegetación en la parcela considerada va a suponer un impacto recuperable, a corto plazo. Por consiguiente, se tratará de un impacto de carácter COMPATIBLE. Pues gracias a la integración de las obras en un SDUS, conseguiremos minimizar esa afección negativa que inicialmente sufrió la vegetación, mediante la implantación de las franjas filtrantes, el depósito de detención y la cubierta vegetal dispuesta sobre el tanque.

#### -Fauna.

Las alteraciones que la obra proyectada producirá sobre las comunidades animales existentes en la zona de estudio se concentran, fundamentalmente, en la fase de construcción. Durante ésta, las acciones del proyecto susceptibles de producir impacto serán las de despeje y desbroce, que implican la desaparición de la cubierta vegetal. Las comunidades faunísticas más afectadas serán las que pueblan las formaciones vegetales existentes en la zona.

La maquinaria pesada, así como la infraestructura auxiliar que conlleva los movimientos de tierras, van a producir temporalmente un nivel de ruidos que afectará a la fauna, originando un desplazamiento de animales que empobrecerá la zona próxima al tanque mientras dure la obra. Aun así, dadas las características de las comunidades afectadas, el impacto se considera de magnitud baja. El impacto se caracteriza como temporal, a corto plazo, recuperable, no singular y de carácter COMPATIBLE.

### **Impactos sobre el paisaje**

El empleo y movimiento de la maquinaria, así como la ocupación del suelo por vertederos temporales, el almacenaje de materiales, la apertura de zanjas para las canalizaciones, etc., disminuirán la calidad visual del entorno de las obras. Durante la fase de construcción, la principal consecuencia de la ejecución de las obras es el impacto visual que los movimientos de tierras suponen sobre el entorno. Asimismo, en la fase de funcionamiento, dicho paisaje también se verá afectado por las propias infraestructuras construidas. En base a la calidad visual del entorno, y a la capacidad de absorción del medio frente a acopios y otras actuaciones verticales, se considera un impacto MODERADO.

**Impactos sobre la calidad del aire** (producción de polvo) Atendiendo al polvo generado en la obra, se pueden diferenciar dos grupos de emisores:

a) Puntuales:

- Lineales. Por ejemplo, las pistas de circulación de vehículos. Se estima que su factor de emisión es aproximadamente 0,25-0,69 kg/km recorrido.
- Móviles. Por ejemplo, los tubos de escape. Bajo condiciones normales de combustión, un motor diesel emite un 73% de nitrógeno, 13% de dióxido de carbono y un 44% de vapor de agua.

b) Fijas. Por ejemplo, la carga de un volante con una excavadora (presenta un factor de emisión

c) mayor a 0,5 kg/Tn), o la descargar de un volquete (presenta un factor de emisión de 0,00017-0,02 kg/Tn).

- Difusas: Por ejemplo, la superficie de las graveras, vertederos o canteras sin revegetar. Parte del polvo generado se deposita sobre la vegetación próxima a los focos considerados y afecta a los hábitáculos más próximos a las obras. Se estima un impacto temporal a corto plazo, reversible, para el que existen numerosas técnicas de minimización y corrección, por lo que se ha valorado como COMPATIBLE con el entorno.

### **Impactos sobre niveles sonoros (producción de ruido)**

En cuanto al ruido emitido por la maquinaria trabajando, se estima que los niveles de emisión para vehículos pesados (>3,5 t) a 7,5 m de distancia son de 80 dB, y que se convierten en niveles de 70-75 dB para distancias de unos 25 m. No obstante, dicha afección de carácter temporal y reversible, ya que se producirá solamente durante la fase de obras y cesará su efecto cuando finalice la actuación.

En conclusión, y analizando la distancia a que se encuentran las edificaciones más cercanas al tanque de tormentas el impacto es MODERADO.

### **Impactos socioeconómicos**

Durante la fase de construcción, se emitirán una serie de partículas de polvo, así como un incremento de los niveles sonoros, que causarán molestias en la población. En el entorno del Tanque, dada la distancia desde la zona de obras al núcleo urbano o a los hábitáculos más próximos, el impacto se considera MODERADO con el entorno.

### **●FASE DE EXPLOTACIÓN**

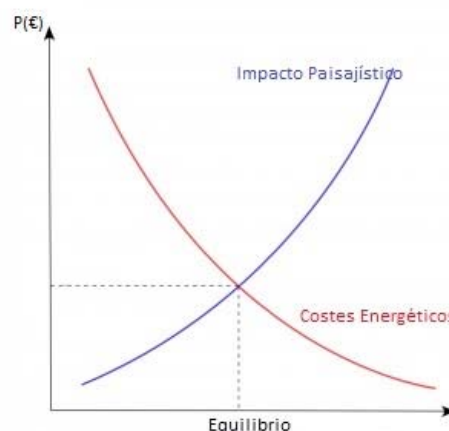
A continuación, se pasa a describir los impactos más significativos ocasionados durante la fase de explotación de los elementos que constituyen la infraestructura:

### **Calidad visual por presencia de las estructuras**

El impacto más destacado lo constituye el propio Tanque en sí, ya que anteriormente a la construcción, la zona afectada era de carácter natural. El impacto estará relacionado con las dimensiones, materiales, formas y colores de las instalaciones. También es importante la ubicación de la parcela. En este caso, la parcela se encuentra en una zona poco visible por la población, al encontrarse en las afueras del municipio.

No obstante, la utilización de medidas correctoras correctas mejorará mucho el impacto visual. Por este motivo, se considera un impacto ambiental MODERADO.

Cabe destacar que en la fase de diseño del Tanque se optó por realizarlo semienterrado con el objetivo de minimizar el impacto visual, es por ello que el tanque tiene 10 metros de profundidad bajo la rasante y tan sólo 4 metros sobre esta. Aun que la solución óptima desde el punto de vista ambiental hubiera sido realizarlo enterrado, esto aumentaría el coste de las obras, al tener que profundizar más la excavación y por ello se aumentarían los costes de movimientos de tierras, así como aumentaría el coste energético de las bombas, que necesitarían mayor energía para elevar el agua desde dicha profundidad. (Figura 128).



**Figura 128: Coste energético vs Impacto paisajístico.**

#### **Ruido emitido como consecuencia del funcionamiento del Tanque.**

En el propio proyecto se prevé que las emisiones de nivel sonoro producidas al exterior del tanque, no superen los 40 dB a cualquier frecuencia, por lo que se considera un impacto COMPATIBLE.

#### **●APLICACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS**

Siguiendo lo expuesto en la metodología general y respondiendo a la finalidad del presente estudio, se han elaborado, en función del medio afectado y de las causas originadas de los impactos, una serie de medidas correctoras de los mismos (preventivas en muchos casos y paliativas en otros), tendentes siempre a minimizar los aspectos negativos o, en última instancia, a compensar la carencia inducida. Se basan estas medidas en el análisis detenido de la conformación de los impactos, para incidir en sus primeras fases de generación, al objeto de que, además de reducir las consecuencias negativas, aminoren los costes de operación y sobre todo los de restauración.

Del análisis de los impactos se observa que sobre un mismo factor ambiental pueden incidir varias causas agentes, con idénticas consecuencias, y que pueden minimizarse con la aplicación de una misma medida correctora; o bien, una misma causa agente puede incidir sobre varios factores ambientales, con distintas consecuencias, pudiéndose corregir con una sola acción minimizadora. Así es el caso, por ejemplo, de la contaminación del suelo, de las aguas superficiales y de las subterráneas, por la generación de residuos; efectos que pueden obviarse con una sola medida correctora. Se han agrupado las medidas en tres tipologías:

#### **-Medidas precautorias, preventivas y/o protectoras:**

Este tipo de medidas son las aplicables bien sobre la actividad, ya que modificando las características de la actuación se puede disminuir la agresividad de la misma, o bien sobre el factor o factores potencialmente alterados, en un intento de disminuir su fragilidad. Por tanto, las medidas incluidas en este grupo evitan la aparición de un impacto o disminuyen su intensidad “a priori”, y deben adoptarse previamente a la aparición del mismo.



#### -Medidas compensatorias:

Se trata de normas o actuaciones aplicables cuando un impacto es inevitable o de difícil corrección. Tienden a compensar el efecto negativo de éste mediante la generación de efectos positivos relacionados con el mismo. En otros casos puede tratarse de acciones que aprovechan la potencialidad de un recurso o del territorio, de modo que se generen beneficios adicionales.

#### -Medidas correctoras:

Son las necesarias para minimizar o corregir impactos ya originados, en un intento de recuperar el estado inicial o, al menos, disminuir la magnitud del efecto.

#### -Medidas protectoras

Se han identificado como medidas protectoras una serie de recomendaciones y actuaciones enfocadas a la minimización de impactos generados por la emisión de sustancias contaminantes al medio. A continuación, se presentan las consideraciones más importantes:

#### **●Fase de construcción**

##### -Movimiento general de tierras.

No se ocupará más suelo del necesario. Para ello se señalarán los pasillos y accesos mediante bandas o balizas, de forma que todo el tráfico y maniobras se realicen dentro de la zona acotada por las mismas. Una de las mejores medidas a aplicar en este sentido es establecer una correcta planificación de las obras y apostar por la formación ambiental del personal operario, principalmente de los encargados de los equipos de obra.

Siempre será preferible utilizar como zonas de acopio temporal de tierras y espacios de vertedero de materiales sobrantes, espacios degradados o campos abandonados, evitando, siempre que sea posible, áreas forestales o terrenos próximos a cursos de agua. Se aconseja que estas zonas estén acotadas y controladas para evitar contaminaciones fuera de las áreas restringidas para tal uso.

Otro aspecto relacionado con los movimientos de tierras será la recuperación y aprovechamiento de la capa de tierra vegetal existente mediante el decapaje de los últimos centímetros más superficiales del suelo (20 ó 30 cm), con el posterior acopio en cordones o pilas de altura inferior a 2,5 m, realizando todas las operaciones necesarias para la conservación y mejora de sus características: oxigenación, abonado siembra, incorporación de materia orgánica, etc., hasta su extendido final.

La ubicación de los acopios deberá realizarse en zonas apartadas para evitar el pisoteo por el paso de vehículos o maquinaria pesada procedente de la obra. El mantenimiento de las tierras vegetales servirá para potenciar el crecimiento de las especies vegetales escogidas en el ajardinamiento de las zonas verdes.

Cabe tener en cuenta los posibles problemas de estabilidad de los taludes resultantes del movimiento de tierras y los fenómenos de erosionabilidad del suelo por factores hídricos y climáticos. Una vez finalizadas las obras de excavación, cimentación de estructuras y rellenos, la superficie del terreno resultante será prácticamente plana.

La elección de zonas de ubicación del parque de maquinaria y planta hormigonera se realizará, preferentemente, en espacios alejados de cursos de agua y sobre áreas de escaso valor biológico. En este caso se aplicarán las medidas necesarias de recogida de aceites y lubricantes procedentes de la reparación de la maquinaria, como puede ser el establecimiento de arquetas estancas de recogida.

Para las hormigoneras se establecerán balsas de decantación para la limpieza de los hormigones sobrantes, que posteriormente serán limpiadas, llevando el residuo a vertedero autorizado.

Una vez finalizadas las obras, se procederá a la limpieza de la zona afectada y al establecimiento de una cubierta vegetal, a base de la implantación de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas sobre las superficies desnudas para evitar problemas de erosión por factores climáticos.

Finalmente, deberán recuperarse los espacios utilizados como vertederos, acopios y/o préstamos mediante una restauración topográfica y, a ser posible, el establecimiento de plantaciones para integrar la zona afectada al entorno.

#### -Hidrología.

Para evitar impactos sobre la calidad de las aguas, así como sobre la vegetación y fauna asociadas, solamente se cruzarán los cauces y acequias por los caminos existentes en la actualidad; asimismo, no se cambiará el aceite de la maquinaria ni se reparará ésta en las zonas próximas.

Se extremarán las precauciones con el fin de evitar la contaminación del cauce o la infiltración de sustancias contaminantes que puedan afectar a las aguas subterráneas.

En este sentido, se recomiendan, al igual que se comenta en el apartado anterior, las siguientes medidas preventivas:

- Marcar previamente las áreas de actuación.
- Establecer el parque de maquinaria alejado de cursos de agua, procediendo a la recogida rápida de aceites y sustancias contaminantes que se puedan generar con el mantenimiento de los equipos y vehículos.
- Evitar el acopio de tierras y otros materiales en zonas cercanas a cursos de agua, para minimizar la aportación de sólidos.

Por otro lado, una correcta planificación de las obras que tenga en cuenta además de los aspectos constructivos, los ambientales, evitará en muchos casos contaminaciones innecesarias.

#### -Paisaje.

Además de las medidas establecidas en el apartado de movimiento de tierras, para minimizar el impacto que se origina como disminución de la calidad visual del paisaje durante la construcción del tanque y el canal, por almacenamiento de materiales, utilización de maquinaria y elección de vertederos, se procurarán elegir zonas abrigadas de vistas. Se propone que el diseño de las infraestructuras sea lo más integrado posible en el entorno.

#### -Ruido.

La parcela donde se instalará el tanque se encuentra lo suficientemente alejada del núcleo de la población más próxima a ella, cómo para presuponer que no se originará molestia alguna a dicha población.

#### -Polvo.

El paso de vehículos pesados y la maquinaria generará polvo en la zona de obras, por lo que se aconseja el riego periódico de pistas y accesos, así como de las superficies abiertas (principalmente en épocas secas).

#### -Vegetación.

La principal medida preventiva es la correcta señalización de las obras, para evitar así la afección en zonas que no sean las estrictamente necesarias, por el paso de vehículos y maquinaria de la obra. Todos los elementos vegetales afectados por las obras, pero que sean interesantes de conservar, se someterán a operaciones de trasplante. En este caso, antes del inicio de las obras, se señalarán los ejemplares o masas arbustivas a recuperar.

#### -Fauna.

No se establecerán medidas preventivas, dado que las poblaciones de aves y mamíferos de la zona se desplazarán de la zona de las obras a otras más tranquilas y serán recuperadas una vez iniciadas las nuevas actividades.

#### -Residuos.

La eliminación de los vertidos y escombros generados en fase de construcción se realizará en vertederos controlados y en ubicaciones donde exista autorización para ello. Deben tomarse, asimismo, las oportunas precauciones en el transporte, empleo y manejo de los residuos; especialmente con los restos de hormigón de los camiones, que serán vertidos en lugares apropiados al efecto, y nunca en terrenos ocupados por vegetación próximos a cursos de agua o susceptibles de cualquier uso.

### ● Fase de explotación

#### -Vegetación y fauna.

Una vez finalizadas las obras, durante la fase de explotación, la relación directa entre evitar la inundación y la recuperación vegetal de los márgenes del curso de agua será un impacto ambiental positivo que no precisará de medidas ni correctoras ni preventivas.

#### -Ruido.

Durante la fase de explotación, en el propio proyecto se prevé que las emisiones de nivel sonoro producidas al exterior del tanque, no superen los 40 dB a cualquier frecuencia.

### ● Medidas compensatorias

Las medidas compensatorias utilizadas en este proyecto se resumen en la integración del proyecto en un sistema de drenaje urbano sostenible (SDUS), con lo que pese a incurrir en algunos efectos negativos como consecuencia de la construcción del tanque, conseguiremos compensar ese efecto negativo mediante las ventajas que ofrece un SDUS.

## ● Medidas correctoras

### **Integración paisajística.**

Se recomienda la revegetación en aquellas zonas susceptibles de poder hacerse y el apantallamiento vegetal del margen del camino de acceso, especialmente el ajardinamiento con especies autóctonas de la zona en las proximidades al tanque, con el fin de mitigar el impacto en el paisaje producido por la construcción de éste.

La instalación de un sistema de riego prevista en el proyecto facilitará el desarrollo y el mantenimiento de las especies plantadas.

### -Valoración de las acciones

A continuación, se listan las acciones y elementos a realizar en las proximidades al tanque, como consecuencia de buscar una minimización del impacto ambiental negativo que pudiera tener la obra sobre el medio:

- Retirada de escombros acumulados en la parcela.
- Movimiento general de tierras compensado.
- Red de riego.
- Jardinería.

## ● Plan de vigilancia

El objeto del presente programa es establecer las pautas para realizar el control y seguimiento de las medidas protectoras, correctoras y compensatorias diseñadas. El programa de vigilancia se dividirá en dos fases, de diferente duración:

**-Fase Primera:** se corresponderá con la fase de ejecución del proyecto de medidas correctoras, que se extenderá desde la fecha del acta de replanteo hasta la de recepción de las obras.

**-Fase Segunda:** se engloba en la fase de explotación de las obras, extendiéndose durante 12 meses desde el acta de recepción de las obras.

### -Fase Primera:

-Plan de seguimiento y control durante la ejecución de obras

-Seguimiento de medidas protectoras

-Control de operaciones ruidosas.

-Control de emisiones de partículas.

-Control de las áreas de movimiento de maquinaria.

-Control de ubicación de canteras, zonas de préstamos, vertederos y escombreras.

-Mantenimiento de servicios y servidumbres.

-Control de la instalación de líneas eléctricas.

-Seguimiento de medidas correctoras

-Seguimiento de la restauración de terrenos afectados por las obras.

-Retirada y acopio de tierra vegetal.

-Época de ejecución de las obras y secuenciación de las mismas.

-Plantaciones.

### **-Fase Segunda:**

-Plan de seguimiento y control durante la explotación de obras.

-Determinar las afecciones que la presencia del tanque supone sobre el medio.

-Detectar afecciones no previstas y articular las medidas necesarias para evitarlas o corregirlas.

-Comprobar la efectividad de las medidas protectoras, correctoras y compensatorias proyectadas.

### **●Programa de vigilancia ambiental**

#### **OBJETIVOS:**

Verificar la evaluación inicial de los impactos previstos, concretando los parámetros de seguimiento de la calidad de los factores ambientales afectados.

Controlar la aplicación de las medidas correctoras previstas en el Estudio de Impacto Ambiental.

Verificar que las repercusiones ambientales de la construcción y explotación de la obra están de acuerdo con las previsiones realizadas.

Si durante las obras se detectaran nuevos impactos no previstos, se deberán definir inmediatamente las correspondientes medidas correctoras

Este seguimiento tendrá una duración mínima de un año, y se alargará más o menos en función de la capacidad del medio para adaptarse a la nueva situación.



La evaluación de los impactos se verificará con el seguimiento de los parámetros de calidad de los siguientes medios:

-Medio terrestre.

-Medio acuático.

-Medio atmosférico.

-Medio edáfico.

-Paisaje.

El control se realizará durante las fases de construcción y de explotación, de manera que su evolución en el tiempo y el espacio se reflejará en un cronograma, en el que se indicarán el estado y el grado de aplicación de las medidas correctoras en cada momento. En caso que las actuaciones previstas se demuestren ineficaces, será necesario redefinirlas y adecuarlas a la nueva situación. A continuación, se indican las medidas a adoptar en cada fase de la obra.

### ●Fase Construcción

#### Medio terrestre

Pasos provisionales para la fauna, mientras existan zanjas abiertas.

#### Medio acuático

Traslado de la capa de tierra vegetal y protección para su posterior reutilización. Limpieza debida al movimiento de tierras. Los movimientos se realizarán en épocas de precipitaciones débiles. Control de vertidos, drenajes y pendientes de taludes.

#### Medio edáfico

Recuperación de la capa edáfica y apilamiento. Redistribución de tierras vegetales una vez realizados los últimos movimientos. Estas obras se harán preferiblemente en otoño o invierno.

#### Adecuación paisajística

Apantallamiento vegetal de las instalaciones.

Traslado de las tierras sobrantes a vertederos autorizados. Revegetación de taludes mediante hidrosiembra. Las mejores épocas son los meses de marzo y octubre.

Plantación de árboles y arbustos al final del otoño y el invierno. Se evitará la utilización de hormigón para la construcción de muros y la sujeción de tierras siempre que sea posible.

Medio atmosférico: Riego permanente con camión cisterna, sobretodo en la época seca. Se controlará el ruido de la maquinaria utilizada y se hará una puesta a punto de los motores. Se evitarán los horarios de trabajo nocturnos.

## ●Fase Explotación

### Medio acuático

Control de la calidad del agua y de los parámetros físicos. Seguimiento de las comunidades piscícolas.

### Medio edáfico

Adecuación paisajística de las instalaciones. Seguimiento de la evolución de la vegetación y reposición de faltas.

### Medio atmosférico

Seguimiento de los niveles acústicos. Seguimiento del nivel de olores de la instalación y en caso de superar los niveles proponer la instalación de sistemas de desodorización y depuración del aire emitido para minimizar el impacto. Los residuos (grasas, arenas y sólidos) se consideran como residuos sólidos urbanos y se destinan a vertedero.

## ●Documento de síntesis

Las actuaciones previstas por el proyecto de diseño del Tanque de Tormentas son:

Conducción de las aguas excedentes mediante la construcción de un canal que lo conduzca hasta el tanque situado en una parcela (de suelo urbano consolidado en este caso). El hecho de evitar la inundación del municipio mediante las infraestructuras proyectadas implica una mejora respecto a la situación actual.

Los principales impactos derivados de construcción del tanque se producirán durante el período de obras o fase de construcción. Dado que el ámbito de proyecto no se han identificado espacios protegidos o de interés natural, ni zonas de riesgo para el bienestar y la salud de la población, ni elementos de interés histórico o cultural, los principales impactos negativos se relacionan con las molestias que las obras suponen para la población. Ya que las viviendas más cercanas al tanque se encuentran aproximadamente a 50 m de distancia, y que estos impactos desaparecerán con la finalización de las obras, los impactos relacionados con el período de obras se consideran compatibles. Por lo que respecta a la fase de explotación del tanque, se considera que los principales impactos son los relacionados con la mejora de evitar una inundación, y por tanto son positivos.

### Eliminación de la superficie agrícola.

La parcela prevista actualmente para la instalación del tanque es la más adecuada, tanto por su proximidad al río, como el fácil acceso de los colectores como por el uso actual del suelo los usos que se desarrollan en su entorno y el fácil acceso de vehículos para la eliminación de lodos.

### Impacto paisajístico de las instalaciones.

El impacto paisajístico que supondrán las nuevas infraestructuras se consideran medios, ya que el proyecto prevé mantener unos criterios estéticos mínimos, además de contar con una buena integración en un SDUS que prevé disponer franjas filtrantes, depósitos de detención y la implantación de un Green-Roof.

### Olores.

No se generarán olores que afecten a las viviendas más próximas, y tampoco afectarán al propio tanque debido a los sistemas de ventilación y limpieza que éste dispone.

### Residuos.

Las rejillas de desbaste situadas en la toma de entrada del tanque serán limpiadas con continuidad evitando obstrucción de éstas por acumulación de lodos y demás residuos que impidan el correcto funcionamiento de la infraestructura.



# ANEJO VIII: GESTIÓN DE RESIDUOS

## **GESTIÓN DE RESIDUOS.**

Conforme a la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, por la que se regula la producción y gestión de residuos, así como la previsión de medidas para prevenir su generación y para evitar o reducir los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a la generación y gestión de los mismos. Igualmente, tal y como sucedía ya en la anterior Ley de residuos, esta Ley tiene también por objeto regular el régimen jurídico de los suelos contaminados, contribuyendo a un desarrollo sostenible de la actividad de construcción.

### **Identificación e Inventario de residuos.**

#### **01. Hormigón, ladrillos, y materiales cerámicos.**

- Hormigón.
- Ladrillos.
- Materiales cerámicos.
- Mezclas o fracciones separadas de hormigón, ladrillos y materiales cerámicos que contienen sustancias peligrosas.
- Mezclas de Hormigón, ladrillos y materiales cerámicos distintos.

#### **02. Madera, vidrios y plásticos.**

- Madera.
- Vidrio.
- Plástico.
- Vidrios, plástico y madera que contienen sustancias peligrosas o estén contaminados por ellas.

#### **03. Metales (incluidas sus aleaciones).**

- Cobre, bronce, latón.
- Aluminio.
- Plomo.
- Zinc.
- Hierro y acero.
- Estaño.
- Metales mezclados.
- Residuos metálicos contaminados por sustancias peligrosas.
- Cables que contienen hidrocarburos y sustancias peligrosas.



#### 04. Tierra.

- Tierras y piedras que contienen sustancias peligrosas.
- Lodos de drenaje que contienen sustancias peligrosas.

#### 05. Otros residuos.

- Residuos de construcción que contengan mercurio.
- Residuos de construcción que contengan bifenilo poloriclorado (PCB)
- Otros residuos de construcción (incluidos los mezclados) que contengan sustancias peligrosas.

#### Prevención de residuos en obra.

X	Todos los agentes intervinientes en la obra deberán conocer sus obligaciones en relación con los residuos y cumplir las órdenes y normas dictadas por la Dirección Técnica.
X	Se deberá optimizar la cantidad de materiales necesarios para la ejecución de la obra. Un exceso de materiales es origen de más residuos sobrantes de ejecución.
X	Se preverá el acopio de materiales fuera de zonas de tránsito de la obra, de forma que permanezcan bien embalados y protegidos hasta el momento de su utilización, con el fin de evitar la rotura y sus consiguientes residuos.
X	Si se realiza la clasificación de los residuos, habrá que disponer de los contenedores más adecuados para cada tipo de material sobrante. La separación selectiva se deberá llevar a cabo en el momento en que se originan los residuos. Si se mezclan, la separación posterior incrementa los costes de gestión.
X	Los contenedores, sacos, depósitos y demás recipientes de almacenaje y transporte de los diversos residuos deberán estar debidamente etiquetados.
X	Separación en origen de los residuos peligrosos contenidos en los RC
X	Reducción de envases y embalajes en los materiales de construcción
X	Aligeramiento de los envases
X	Envases plegables: cajas de cartón, botellas,...
X	Optimización de la carga en los palets
X	Suministro a granel de productos
X	Concentración de los productos
X	Utilización de materiales con mayor vida útil
X	Instalación de caseta de almacenaje de productos sobrantes reutilizables
	Se dispondrá en obra de maquinaria para el machaqueo de residuos pétreos, con el fin de fabricar áridos reciclados.
X	Se impedirá que los residuos líquidos y orgánicos se mezclen fácilmente con otros y los contaminen. Los residuos se deben depositar en los contenedores, sacos o depósitos adecuados.
X	Se han usado elementos prefabricados e industrializados, que se montan en la obra sin apenas transformaciones que generen residuos.
X	Se utilizarán materiales con "certificados ambientales" (Ej. tarimas o tablas de encofrado con sello PEFC o FSC).
X	Fomentar en el personal de la obra el interés por reducir los recursos utilizados y los volúmenes de residuos originados.
X	Asegurarse de que todos los que intervienen en la obra conozcan sus obligaciones en relación con los residuos y que cumplan las normas y órdenes dictadas por la dir. técnica
X	Llevar un registro de cada contenedor que sale de la obra.
X	Los contratos de suministro de materiales deben incluir un apartado donde se defina claramente que el suministrador de los materiales y productos de la obra se hará cargo de los embalajes con los que se transporten hasta la obra.
X	El personal de la obra que participa en la gestión de los residuos debe tener una formación suficiente sobre los aspectos administrativos necesarios.
X	Las arenas y gravas se acopiarán sobre una base dura para reducir los desperdicios.
X	Disponer en obra de un directorio con de los compradores de residuos y recicladores más cercanos.

Tabla 21: Medidas para la prevención de residuos en obra.

### **Condiciones de la gestión de residuos.**

El depósito para los residuos de construcción valorizables (madera, plásticos, chatarra...) que se realice en contenedores o en acopios, se deberá señalar y segregar.

En el equipo de obra se establecerán los medios humanos, técnicos y procedimientos de separación para cada tipo de residuo.

El responsable de la obra a la que presta servicio el contenedor adoptará las medidas necesarias para evitar el depósito de residuos ajenos a la misma. Los contenedores permanecerán cerrados o cubiertos, al menos, fuera del horario de trabajo, para evitar el depósito de residuos ajenos a las obras a la que prestan servicio.

Se deberán atender los criterios municipales establecidos (ordenanzas, licencias de obra...), especialmente si obligan a la separación en origen de determinadas materias, objeto de reciclaje o disposición. En este último caso se deberá asegurar por parte del contratista realizar una evaluación económica de las condiciones en las que es viable esta operación. Y también, considerar las posibilidades reales de llevarla a cabo: que la obra o construcción lo permita y que se disponga de plantas de reciclaje/gestores adecuados. La dirección de Obras será la responsable última de la decisión a tomar y su justificación ante las autoridades locales o autonómicas pertinentes.

Se deberá asegurar en la contratación de la gestión de los residuos de construcción, que el destino final (Plantas de reciclaje, vertederos, canteras, incineradora, centro de reciclaje de plásticos/madera) sean centros autorizados. Así mismo se deberá contratar sólo transportistas o gestores autorizados e inscritos en los registros correspondientes. Se realizará un estricto control documental, de modo que los transportistas y gestores de residuos de construcción deberán aportar los vales de cada retirada y entrega en el destino final.

Para aquellos residuos de construcción (tierras, pétreos) que sean reutilizados en otras obras o proyectos de restauración, se deberá aportar evidencia documental del destino final.

La gestión de los residuos peligrosos que se hallen en la obra se regirán conforme a la legislación nacional vigente.

Asimismo, los residuos de carácter urbano generados en las obras (restos de comida, envases...) serán gestionados acorde a los preceptos marcados por la legislación y autoridad municipales.

Se evitarán en todo momento la contaminación con productos tóxicos o peligrosos de los plásticos y restos de madera, para su adecuada segregación, así como la contaminación de los acopios o contenedores de escombros con componentes peligrosos.

Ante la detección de un suelo como potencialmente contaminado, se deberá dar aviso a las autoridades ambientales pertinentes, y seguir las instrucciones descritas en el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

#### **Prescripciones para la gestión de residuos.**

Los puntos limpios o de vertido, zonas fijas de almacenamiento temporal, se localizarán próximos a las áreas destacadas por una actividad importante y prolongada, o por cualquier otro motivo razonable, y consisten en un conjunto de contenedores dispuestos en una zona especialmente acondicionada para ello. En principio, es aconsejable la instalación de puntos limpios en el parque de maquinaria y oficina, siempre en el recinto de la obra.

Cuando no haya suficiente espacio, se instalarán en la vía pública, de manera tal que no afecten a la circulación de vehículos o personas, ni tampoco al arbolado, zonas verdes o mobiliario urbano. La instalación de contenedores en la vía pública está sujeta a la licencia municipal.

Cada punto de acopio de escombros de las obras reunirá, al menos, las siguientes condiciones:

- Será accesible al personal de la obra, y estará convenientemente indicado en caso necesario.
- Será accesible para los vehículos que retirarán los contenedores.
- No interferirá el desarrollo normal de la obra, ni el acceso y tránsito de maquinaria por el recinto de la misma.

La recolección de los residuos, para clasificarlos y su posterior transporte hasta el punto de vertido se realiza mediante la maquinaria adecuada.

En cualquier caso, se evitará el depósito incontrolado fuera del recinto de la obra. En el caso de dictarse zonas con una presencia anómala de residuos de cualquier tipo, se procederá a dar aviso al responsable de los mismos para su inmediata retirada.

Existirá un servicio de recogida periódica. La determinación del turno de recogida más conveniente dependerá de las condiciones particulares de la obra y del momento de operación. En la retirada de los residuos clasificados en obra, se hará referencia a la prioridad del servicio de recogida, así como a los beneficios económicos que en su caso se acuerden por retirar cada residuo una vez clasificado.



# ANEJO IX:

# BIBLIOGRAFÍA



## BIBLIOGRAFÍA/WEBGRAFÍA

- Balairon Pérez, Luis. "Gestión de recursos Hídricos". Barcelona. Edición de la Universidad Politécnica de Cataluña.SL.2000
- Témez Peláez, José R. "Hidráulica básica". Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela U.I.T de Obras Públicas.
- Rodríguez Ruiz, Pedro. "Hidráulica II". México: Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura IPN, 2008.
- Liria Montañés, José. "Canales hidráulicos proyecto, construcción y modernización" Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001.
- Manual Nacional de Recomendaciones para el Diseño de Tanques de Tormenta.Septiembre,2014
- Máximas llluvias diarias en la España peninsular
  - [www.fomento.gob.es](http://www.fomento.gob.es)
- Base datos HERCULES del CEDEX
  - <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-datos.asp?indroea=3181>
  - [http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-datos\\_anual.asp?indroea=3181](http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-datos_anual.asp?indroea=3181)
- [www.hidrostant.com/hidrostant/](http://www.hidrostant.com/hidrostant/)
- [www.cedex.es](http://www.cedex.es)
- Anta Álvarez José, Puertas Agudo Jerónimo, Suárez López Joaquín, Del Río Cambeses Héctor, Hernaez Oubiña David "Gestión de las aguas pluviales en ámbito urbano. Técnicas de drenaje urbano sostenible". CEDEX, 2012.
- <https://sdus.webnode.es/sdus/criterios-de-dise%C3%B1o/matrices-ciria/>
- <http://sudsostenible.com>
- [www.mapama.es](http://www.mapama.es) → Visor del Banco de datos de la naturaleza → <https://sig.mapama.gob.es/bdn/>
  - Biodiversidad.
  - Espacios protegidos,
  - Ecosistemas y conectividad.
  - Inventarios nacionales.